

5.4 水資源開発・利用・管理

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

基本方針を検討するに当たって、水文学的特徴や水資源を利用するためには必要な行動条件を整理した。

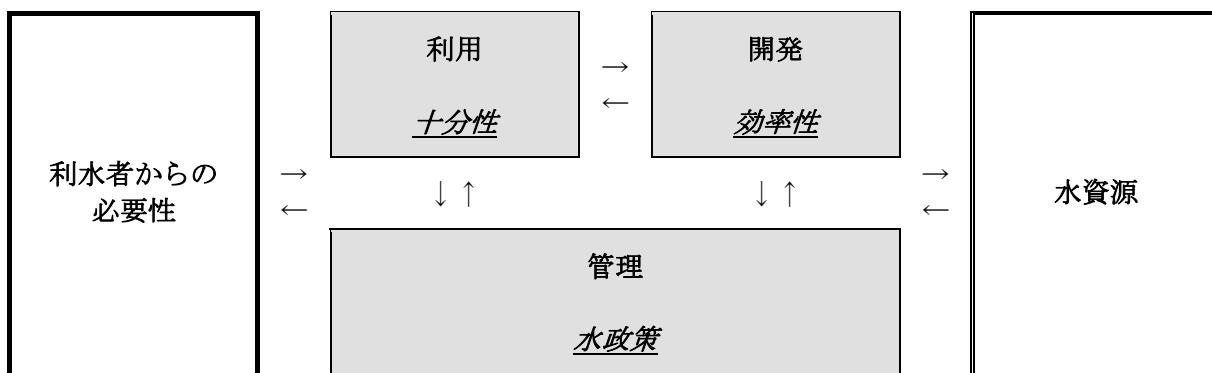
(1) 5州の水文的特徴

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

(2) 必要な水を確保するために必要な行動

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。人々の必要な水資源を満足させるために、図B.5-6に示すように、3つの基準（十分性、水政策、効率性）に基づいて、3つの行動（利用、管理、開発）が行われなければならない。



図B.5-6 水資源を確保するための3つの基準と行動

〈開 発〉

利水計画で明らかにされた将来の水不足を充足するために未資源開発を行う行為が「開発」である。開発は、水政策に沿ったものでなければならない。水資源開発計画の策定にあたっては、水文特性といった自然条件、水源や施設、経済性や環境といった様々な条件を考慮した代替案を検討した上で、最終案を決定する必要がある。

当該地域では、降雨及び再生可能水資源の年変動や季節変動が大きく、水利用上の安定性確保の障害となる。それらに対応できるよう、たとえば、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ことや、洪水を確実に貯留して経年的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。

降雨及び再生可能水資源の変動の地域的、流域的ばらつきも一定の地域における水利用の安定性を損なう要因である。このような地域的なばらつきに対して全体として一定レベルの水利用を行うために、たとえば、異なる地域、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。

乾燥、準乾燥地域においては可能蒸発散量が非常に大きく、ダムによる貯水池からの蒸発ロスが大きいことが課題の一つである。これへの対応としては、たとえば、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、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。(C. 第2章、参照)

〈利 用〉

「開発」事業が完了すると水「利用」が開始される。しかし、利用計画は開発に先立って予め策定するべきである。利用計画に関わる主要な利水者は1)上水(家庭用水、公共用水、商業用水)、2)工水、3)灌漑である。利水計画の策定にあたっては、人口増加、単位消費量、給水率、工業生産の増加、灌漑面積といった指標の将来予測に基づいて、利水者の需要を満たす必要がある。これらの指標は水政策を考慮しつつ、利水者の十分性に基づいて検討することが必要である。

水文的条件から水資源の乏しい当該地域においては、水資源の持続的な利用をはかるために、水資源のポテンシャルから推定される持続可能な利用可能量とバランスのとれた利用を行う点を留意すべきである。このために、需要管理により利用水量をコントロールすることが必要となる。

〈管 理〉

利用及び開発に関する管理は水政策に従って行われる。利水者への水配分は水政策に基づき決定される。また、水の保全計画も水政策に従って策定される。

調査地域のように水資源が乏しく水需給が逼迫している地域における水資源を適切に管理するためには、国としての方針を明確に示すことが重要である。なぜなら、貴重な水資源を有効に無駄なく管理するためには水の公平かつ効率的な配分がきわめて重要であり、そのための複雑な利害関係者間の調整が必要となる。その際には、上位レベルでそのような水資源の管理を行うという強いイニシアティブとコミットメントが必要であり、それを具現化した明確な水政策が必要となるからである。

5.4.2 水資源開発・利用・管理の基本方針

将来の水資源開発・利用・管理についての考え方を水政策として整理するために、水利用の現状、計画目標年における需要と供給、再生可能水資源等の開発に関するここまで検討から、以下のように課題を整理した。

(1) 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。

(2) 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。

(3) 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が必要となる。

(4) 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。

(5) 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必要管理を徹底し、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、利用効率を高めたり、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。

(6) 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な、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。

5.5 5州の水政策と戦略および行動計画

5.5.1 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つの区分で10項目を掲げた。

- ◆ 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

それぞれの水政策に対して以下に戦略を示した。

表 B.5-14 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	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 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	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 水資源開発と資源保全の均衡のとれた開発を行う ◆ 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

項目	具　体　的　な　内　容
	(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

5.5.2 行動計画－水資源開発

水資源開発かかわる以下の水政策・戦略について、行動計画を提案する。

- ◆ 政策 WP1 : 再生可能水（表流水）の有効利用を図る
- ◆ 政策 WP2 : 再生可能水（地下水）の持続的利用を図る
- ◆ 政策 WP3 : 淡水化水の適切な利用を図る

(1) 表流水の開発

<ダムによる開発>

MOWE はこれまで多くのダムを建設し、また、現在建設中及び今後のダム計画があるが、調査団の調査から、有望な大規模貯留ダムはすでに建設済みか建設中であると判断され、新規のダムサイトは残されていない。本調査では、再生可能水資源を開発する主要ダムとして経年的な貯留でダム運用を行うことにより、安定的に水を供給できる可能性が高いと推定される以下の大規模貯留ダムを対象とした。Najran 州では、計画されるダムサイトがないため、ダムによる開発は行われない。（ダム位置については、図 B.5-7 参照）

表 B. 5-15 水資源開発計画の対象ダムと計画給水量（4州）

州名	Dam名	計画給水量(m ³ /日)
1) Makkah	Rabigh	44,000
	Maruwani	36,000
	Yiba	38,000
2) Al Baha	Nilah & Qilwah	11,000
	Al Janabin	5,000
	Hali (Makkah州)	35,000
3) Asir	Baysh (Jazan州)	25,000
	Ranya	68,000
	Hirjab	9,000
	Tabalah	16,000
4) Jazan	Baysh	44,000
	Qissi	36,000
	Damad	38,000

注) 計画給水量は、原則として再生可能水資源ポテンシャルより調査団が仮定した。

<開発水の配分>

水資源開発管理にかかる行動計画の策定にあたって、都市用水、工業用水及び農業用水にかかる新規開発水資源の配分については次のように仮定した。

- ◆ 新規の再生可能水資源は、開発可能想定量のうち都市用水・工業用水用に割り当てる仮定として30%を割り当てる。残りの70%は下流の既得利水者及び農業用水として割り当てること仮定した。
- ◆ 都市用水需要が、再生可能水資源で充足されない場合は、その不足分に対し海水淡水化水あるいは化石地下水(Najran州及びAsir州東部の一部)を配分する。
- ◆ 下水処理水は都市用水のうち緑化用水として使用される量に相当する5%及び将来の工場において主に冷却用水・温度調節用水として工業用水の30%に使用されるものと仮定して配分する。これを除く残りの水量は再生可能水資源及び安定水源(淡水化水あるいは化石地下水)により供給される。なお、工業用水での下水処理水の利用については、今後工場内でのリサイクル率の向上とともになう淡水補給水の減少や工場の施設整備の進捗など不確定要素もあり、水資源開発計画上は安全側として30%を下水処理水の再利用目標としている。
- ◆ 農業用水需要には、農業生産に使用可能な範囲で、下水処理水を配分する。
- ◆ 再生可能水資源ポテンシャルのうち、都市用水・工業用水への配分を除く水量を上限として農業を行う。それ以上には農業生産を行わないものとする。

(2) 地下水の開発

今後の大規模開発の対象となる再生可能地下水は存在しない。従って、今後の再生可能地下水の開発・利用については、地下水保全(地下水涵養)によって地下水の利用量を増やすことになる。既存の涵養ダムや利水ダムのみならず、洪水調節ダムについても適正なダム運用により地下水涵養量の増大が期待できる。

非再生可能な化石地下水については、Najran州の砂漠地帯に存在するWajid滯水層のポテンシャルがGTZの調査によって確認されている。MOWEは次の2つのパイプラインによって、このWajid滯水層からNajran州西部(Najran市)やAsir州の北部のTathlith市やBisha市に導水を計画している。

海水淡水化施設から遠方にある地域では、海水淡水化水を送水するために輸送費が大きくなるため、海水淡水化水の利用経済的な負担が増加する。このため、内陸部に位置するNajran州やAsir州東部のTathlithやBishaでは、需要に対する再生可能水資源の不足を化石地下水により補給する計画が立てられている。本調査では、MOWEによるこれらの計画を前提とした。化石水の導水パイプ計画は以下の通りである。

- ◆ Najran 州西部 Wajid Well Field ~Tath Lith~Bisha
- ◆ Najran 州西部 Wajid Well Field ~Najran

化石地下水は都市用水として利用し、農業用水には利用しないこととする。化石地下水は降雨などの自然条件の影響をほとんど受けないため安定した水資源である。そのため、海水淡水化水と同様、利水安全度を向上させる安定水源として位置付けるものとした。

(3) 海水淡水化水の開発

再生可能水資源のポテンシャルの検討結果から、再生可能水資源の開発だけでは、5州全てにおいて、都市用水及び工業用水の需要増加に対応することができない。都市用水については将来の需要量と開発量の差は、基本的に海水淡水化水により供給されるものとする。但し、Najran 州及び Asir 州の東部にある Tathlith のように、海水淡水化水の計画がない地域では、化石地下水を利用することが MOWE により計画され、一部既に着手されているため、海水淡水化水の供給は行わない計画とする。

既設の海水淡水化プラントの大規模なものとしては、Jeddah の南に位置する Shuaiba プラント (Makkah 州) と Jizan の北に位置する Shuqaiq プラント (Jazan 州) がある。山間地にある Al Baha 州や Asir 州の州都である Al Baha や Abha 等への水の輸送はそれぞれ Shuaiba プラント及び Shuqaiq プラントから送水されている。これらの都市は標高が高く、淡水化水の供給コストに占める輸送コストの割合が大きい。都市の標高はかえられないため、送水コストの低減のためには、海水淡水化プラントから目的地までの輸送距離をできるだけ短くすることが必要となる。また、輸送距離をできるだけ短くすることは平野部での淡水化水の輸送コスト低減のためにも必要なことである。

Shuqaiq プラントから Abha へはほぼ直線の輸送ルートとなっているものの、Shuaiba プラントから Al Baha へは Taif を経由して約 400km を輸送している。将来、Al Baha へ供給される淡水化水は増量されることから、Al Baha への最短ルートで輸送できる地点に海水淡水化プラントを新設することは供給コストの縮減のために必要である。

また、現在は少量であるが計画目標年においては大幅に増量される Jizan 及びその周辺への淡水化水は Shuqaiq プラントからではなく、輸送距離の縮減のため Sabya にプラントを新設することで供給コストの縮減が図られる。

本調査では、送水コストの低減をはかるために、紅海沿岸の以下の 2 つのプラントの新設を提案する。(図 B.5-7 参照)

- ◆ Makkah 州南部 Dawqah 地点 Shoiba から Taif 経由で約 400km に対し、約 110km で 290km 短縮
- ◆ Jazan 州中央部 Sabya 地点 Shuqaiq から Jizan まで約 140km に対し、約 40km で 100km 短縮

送水用のパイプラインは、Shuaiba~Taif~Al Baha のルート、Shuqaiq~Abha~Khamis Mushayt のルート、Shuqaiq~Ad Darb までのルートが建設済みである。本調査では、以下のルートについてのパイプラインを計画する。(図 B.5-7 参照)

- ◆ Makkah 州南部 Dawqah 地点～Al Baha
- ◆ Jazan 州中央部 Sabya 地点～Jizan～Samatah

(4) 水資源の安定確保のための相互導水

調査地域のような乾燥地域では、降雨の時間的変動（年変動、季節変動）及び場所的変動が大きい。このため、このような自然の不確実性の影響を受けて、表流水や地下水といった再生可能水資源による利用可能量は必ずしも安定していない。再生可能水資源を利用するためには、水文的な不確実さに対して、水供給の安定性を高めることが、社会生活の安定のために必要となる。

MOWE 及び SWCC によって、Makkah 州の Hali ダムから Jeddah までの紅海側のパイプラインと Jazan 州の Samatah から Al Birk までの紅海側のパイプラインが計画されている。ここでは、これらのパイプラインを連結し、Jazan 州から Makkah 州までの紅海側に連続するパイプラインとすること

を提案する。この連結によって、特に水資源ポテンシャルの大きい Hali ダムと Baysh ダムの相互の水のやりとりを可能とし、全体システムの水利用の安全度を向上させることができるとなる。

これまでの検討でダムから都市用水に供給されると仮定した水量は、PART-C 2.1.2 での検討結果と合わせてみると、おおむね 30 年間に 3 回程度は予定量の 70%程度しか供給できないという水量に相当する。やや厳しい仮定かもしれないが、仮に 10 年間に 1 回程度渇水が生じ、供給量は今後の気候変動を考慮して 50%程度となることを想定する。また、雨期と乾期の期間が明確ではないが、それぞれ半年ずつと仮定し、雨期の中間から次の雨期の中間まで渇水が継続すると仮定し、6 ヶ月間の渇水期間を想定する。Hali ダムと Baysh ダムの渇水が重複しなければ、これらのダムは水資源ポテンシャルが大きいので、渇水側へ水供給が可能と推定される。上記の条件で、相互に融通される水量を、計画目標年の 2035 年まで 3.5 回の渇水が発生すると想定すると次のとおりとなる。

ダム名	平年の都市用水供給量 (1000m ³ /日)	渇水年の都市用水供給量 (1000m ³ /日)	想定渇水期間 (日)	渇水期間の不足水量 (1000m ³)	2035年までの想定渇水回数 (回)	不足水量の合計 (1000m ³)
Hali	70	35	180	6,300	3.5	22,050
Baysh	58	29	180	5,220	3.5	18,270

上表より、Hali ダム側の渇水年に Baysh ダムから供給する水量は 6,300 千 m³、その逆は 5,220 千 m³ となる。これらは Baysh ダム地点の平年の水資源ポテンシャルに対して 6.2%、Hali ダム地点の平年の水資源ポテンシャルに対して 4.2% であり、ダムの能力に対して過大な負荷ではないと想定される。

これらの水量が相互のダムでやり取りが出来なければ、Makkah 州、Al Baha 州及び Asir 州のグループ内、並びに、Jazan 州と Asir 州のグループ内で節水及び関連ダム間での融通によるか或いは海水淡化水の増産により対応する必要がある。仮にこの水融通を海水淡化水の増産により対応すると想定すると、ダムによる開発単価 0.31 SR/m³ と海水淡化水の平均造水単価 2.77 SR/m³ の差額と水量から計画目標年までに増加する費用は、約 99 百万 SR となる。

一方、この連結のために要する費用は、Al Birk から Al Suffah 迄の間 60km を結ぶパイプラインで、日量 35 千 m³ の送水を想定し口径 550mm とすると、約 96 百万 SR（運転費除く）となる。計画目標年までの長期的にみて、以下のメリットも考慮すれば投資効果があると想定される。

また、Hali ダムと Baysh ダム間の水のやりとりができるれば、Makkah 州側の Yiba ダムや Qanunah ダムの渇水時にも Baysh ダムの水が利用可能であり、その逆に、Jazan 州側の Qissi ダムや Damad ダムの渇水時にも Hali ダムの水が利用可能となる。このように、大きな水資源ポテンシャルを持つ 2 つのダムの間で相互に水供給ができるようなシステムを構築することにより、全体のシステムとして利水安全度を高めることができる。

図 B.5-7 は、このような考えで Jazan 州から Makkah 州までの紅海側でパイpline を計画した案である（紅海水ライフルайн）。

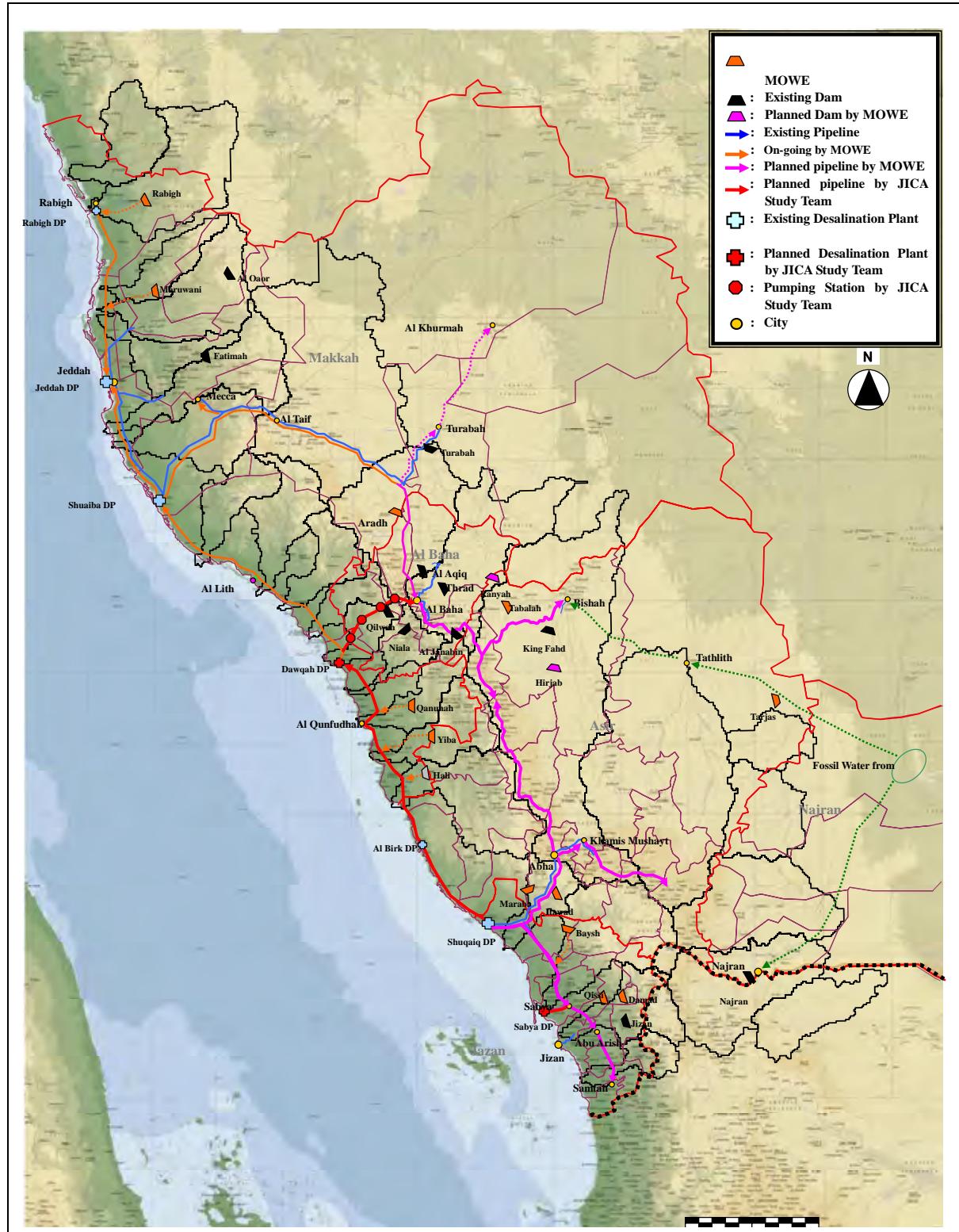


図 B. 5-7 パイプラインを連結した「紅海水ライフルайн」導水の概念図

(5) 紅海水ライフルайнの比較検討

紅海水ライフルайнについて表 B. 5-16 に示す 3 案を比較検討する。

代替案 1 (図 B. 5-8 参照)

代替案 1 の特徴は、都市用水の新規需要に対して、建設位置を任意に定められる海水淡水化プラントを新たに 2 カ所建設し、主要な需要地域までの送水コストの軽減を図ることを提案した点で

ある。再生可能水資源の水源ダムは他の案と同じである。

Makkah 州から Jazan 州まで紅海側をパイプラインで連結する紅海水ライフライン計画とし、渴水に対しては広域的な水のやりとりを可能とする。

代替案 2 (図 B. 5-9 参照)

代替案 2 の特徴は、都市用水の新規需要に対して、既存の主力海水淡化プラントを拡張し、供給する計画としているもので、MOWE 及び SWCC の現在の計画に沿った案としている点である。再生可能水資源の水源ダムは他の案と同じである。

Makkah 州から Jazan 州まで紅海側をパイプラインで連結する紅海水ライフライン計画とし、渴水に対しては広域的な水のやりとりを可能とする。

代替案 3 (図 B. 5-10 参照)

代替案 3 の特徴は、既に実施されている Jazan 州の Baysh ダムから Asir 州への供給を除いて、州の間での水のやりとりを基本的に行わないような水資源の利用計画としている点である。再生可能水資源の水源ダムは他の案と同じである。

海水淡化化プラントは州ごとに独立した水利用という方針に基づき、代替案 1 と同様に 2 カ所新設するものとした。また、Ai Birk と Al Suffah 間は、州ごとに独立した水利用の方針から、連結しない計画とする。

代替案 3 は、州間で再生可能水資源の融通を行わないことにより、渴水時に各州内での水利用の制約が大きいと想定される。しかし、州ごとの水利用の独立性が高いので、水利用に関する州間の調整に要する手間は他の 2 つの案より軽減される。

表 B. 5-16 代替案比較説明

比較項目	代替案(1)	代替案(2)	代替案(3)
水源 (再生可能水資源)	1) MOWE のダム、井戸群 2) 開発単価が安価であるため、再生可能水資源の開発は優先的に進行。	1) MOWE のダム、井戸群 2) 開発単価が安価であるため、再生可能水資源の開発は優先的に進行。	1) MOWE のダム、井戸群 2) 開発単価が安価であるため、再生可能水資源の開発は優先的に進行。
水源 (海水淡化水)	1) 新たなプラントの新設を行う。 a) Dawqah にプラントを新設し Al Baha 供給 b) Sabya にプラントを新設し Jazan 供給 2) Makkah 州は Jeddah プラントと Shuaiba プラント、Al Baha 州は Dawqah プラント、Asir 州は Shuqaiq プラント、Jazan 州は Sabya プラントが主要な海水淡化化施設となる。	Makkah 州と Al Baha 州は Jeddah プラントと Shuaiba プラント、Asir 州と Jazan 州は Shuqaiq プラントが主要な海水淡化化施設となる。	1) 新たなプラントの新設を行う。 a) Dawqah にプラントを新設し Al Baha 供給 b) Sabya にプラントを新設し Jazan 供給 2) Makkah 州は Jeddah プラントと Shuaiba プラント、Al Baha 州は Dawqah プラント、Asir 州は Shuqaiq プラント、Jazan 州は Sabya プラントが主要な海水淡化化施設となる。
水源 (化石地下水)	Asir 州の東部と Najran 州に、Wajid 帯水層から化石水を供給する。	Asir 州の東部と Najran 州に、Wajid 帯水層から化石水を供給する。	Asir 州の東部と Najran 州に、Wajid 帯水層から化石水を供給する。
再生可能水資源の利用 (常時)	1) ダムが設置された州で開発された水資源を利用する。 2) ただし、Baysh ダム (Jazan → Asir)、Hali ダム (Makkah → Asir) は計画どおり州外の利用が有りとする。	1) ダムが設置された州で開発された水資源を利用する。 2) ただし、Baysh ダム (Jazan → Asir)、Hali ダム (Makkah → Asir) は計画どおり州外の利用が有りとする。	1) ダムが設置された州で開発された水資源を利用する。 2) ただし、すでに州外で利用されている Baysh ダム (Jazan → Asir) は州外の利用ありとする。
再生可能水資源および海水淡化水の利用 (渴水時)	1) Al Birk と Al Suffah を連結するパイプラインを計画し、Makkah 州と Al Baha 州で渴水が深刻な場合に、Asir 州と Jazan 州から水融通を行う。 2) Asir 州と Jazan 州の渴水が深刻な場合はその逆の融通を行う。 3) Makkah 州と Al Baha 州、Asir	1) Al Birk と Al Suffah を連結するパイプラインを計画し、Makkah 州と Al Baha 州で渴水が深刻な場合に、Asir 州と Jazan 州から水融通を行う。 2) Asir 州と Jazan 州の渴水が深刻な場合はその逆の融通を行う。 3) Makkah 州と Al Baha 州、Asir	基本的に各州内で渴水調整を行う。

比較項目	代替案(1)	代替案(2)	代替案(3)
	州と Jazan 州間ではそれぞれの渴水の程度に応じて州間で水融通を行う。	州と Jazan 州間ではそれぞれの渴水の程度に応じて州間で水融通を行う。	
特徴	1)渴水の程度や範囲に応じて、Makkah 州と Al Baha 州のグループ、Asir 州と Jazan 州のグループ内での水融通、さらにはグループ間での水融通を行えるシステムとする。 2)各州に対応する主要な海水淡水化プラントを設置することにより、危険分散がはかられる。 3)システム全体としては代替案(3)よりは再生可能水資源の変動に対して適応力が高い。	1)水利用のシステムの機能としては代替案1と同等のものをを目指す。 2)海水淡化の今後の需要増対応を既存の Shuaiba プラントと Shuqaiq プラントの拡張により対応する計画とする。 3)海水淡水化水について州ごとの独立性が代替案1ほど明確ではない。 4)システム全体としては代替案(3)よりは再生可能水資源の変動に対して適応力が高い。	1)各州の水利用を独立して行うシステムとなる。 2)渴水時や海水淡化化施設の突發的な事故による停止に対しては各州内で調整を行うこととする。 3)州間の利水調整に要する労力は最も少なくなる。

<比較案の評価>

代替案-1～代替案-3に関する比較表を表 B. 5-17 に示す。

概略検討の比較方法として水の開発単価（再生可能水資源）及び製造単価（海水淡水化水）及び輸送コストを基にした。なぜなら、ダムの位置は代替案-1～代替案-3まで共通しており、その送水系統がほぼ同じと考えられ、施設に要するコストは同等と考えられるからである。また、海水淡水化プラントの拡張と新設の場合の送水経路は変わるが、送水経路を短くすることで送水コストが安価になるだけでなく、送水路の建設費も安価になることからより有利に働く。ここでは建設費を含めなくとも経済的優位性が示せることがわかったので水価と送水コストで評価した。

比較に際して使用した「m³の水単価」は、以下の通りとなる。

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）

水源区分	地点/ルート	造水/開発(SR/ m ³)	送水(SR/ m ³)	合計単価(SR/ m ³)
海水淡水化	1) Suaiba-Makkah	2.78	1.21	3.99
	2) Shuaiba-Al Baha	2.95	7.63	10.58
	3) Dawqah-Al Baha	2.78	3.28	6.06
	4) Shuqaiq-Abha	2.43	5.18	7.61
	5) Sabya-Jizan	2.84	0.60	3.44
再生可能水資源	1) Qanunah-Makkah	0.31	5.79	6.10
	2) Yiba-Makkah	0.31	5.79	6.10
	3) Hali-Makkah	0.31	5.79	6.10
	4) Qanunah-Al Alayah	0.31	5.66	5.97
	5) Hali-Al Alayah	0.31	5.66	5.97

出典：調査団並びに MOWE, SWCC 資料(Annual Report)による推定

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）

評価項目/施設	代替案-1	代替案-2	代替案-3	総合評価
経済性	Desalination	1,319.9	1,484.9	1,444.7
	1) Shuaiba-Makkah (DS)	95.4	95.4	29.4
	(P)	41.5	41.5	12.8
	2) Shuaiba-Al Baha (DS)		107.7	12.8
	(P)		278.5	
	3) Dawqah-Al Baha (DS)	101.5		101.5
	(P)	119.7		119.7
	4) Shuqaiq-Abha (DS)	221.7	221.7	291.8
	(P)	472.7	472.7	622.0
	5) Sabya-Jizan (DS)	220.8	220.8	220.8
	(P)	46.6	46.6	46.6
	Renewable	226.3	226.3	229.4
	1) Qanunah-Makkah (DM)			3.4
	(P)			63.4

評価項目/施設		代替案-1	代替案-2	代替案-3	総合評価
2) Yiba-Makkah	(DM)	4.3	4.3	4.3	
	(P)	80.3	80.3	80.3	
	(DM)			4.0	
	(P)			74.0	
	(DM)	3.4	3.4		
	(P)	62.0	62.0		
	(DM)	4.0	4.0		
	(P)	72.3	72.3		
	Total	1,546.2	1,711.2	1,674.0	
	Index of Cost (%)	(100)	(111)	(108)	
技術面		技術的な課題は少ない			代替案の差はない。
維持管理並びに運営面		Makkah 州、Asir 州間で再生可能水資源の導水があり調整が必要である	州間の導水がなく、調整事項は少ない		代替案-3 が優位である。
環境影響		ダムに関しては、流況、地下水、パイプラインに関しては生態系への影響、淡水化プラントでは、水質汚染への影響がある。			環境面に関しての差はない
総合評価					維持管理運営面では、代替案-3 が優位であるものの、経済性では、代替案-1 が優れる。

Note) DS:Desalination Plant, P:Pipeline, DM:Dam

上表に説明を加えると、以下の通りとなる。

- ◆ 経済性：代替案-1 は Dawqah と Sabya に海水淡化プラントを新設し、需要地域までの送水コストを低減させた。このため、既存の Shuaibah と Shuqaiq の海水淡化プラントを拡張して需要地まで送水する代替案-2 に比べて安価となった。代替案-3 は海水淡化プラントの新設は代替案-1 と同じであるが、再生可能水の新規の利用を州内としたことから、Hali ダムの Asir 州での利用を Makkah 州で使用することとし、Asir 州ではその分を Shuqaiq プラントからの海水淡化水を增量する必要があり、水の生産コストの上昇により代替案-1 より高価となった。全体としては、概略比較では、コストの小さい方から案 - 1、案 - 3、案 - 2 の順となった。
- ◆ 技術面：同じ工種の施設を建設することから同等であり、差は見られない。
- ◆ 維持管理並びに運営面：維持管理については、同じ工種の施設にたいして実施するため同等と判断される。案-3 については各々の州でそれぞれの再生可能水資源を開発することから、州間の水の相互利用の調整が軽減され、優位である。
- ◆ 環境影響面：ダムに関しては、流況、地下水、パイプラインに関しては生態系への影響、淡水化プラントでは、水質汚染への影響がある。環境影響における「負の影響」については、施設の配置計画や詳細な検討や各種環境緩和策の実施により、環境への影響を緩和することが可能である。

各案に対しては大きな差は見られないものの、最終的には経済性を重視して「代替案-1」を採用する。以下の各州の行動計画は、この紅海水ライフライン案(代替案-1)をもとに提案するものとする。

紅海水ライフライン案(代替案-1)の経済的な優位性については、以下の通り、将来必要となる Al Baha 州への海水淡化水の給水コストの比較からも分かる。

- ◆ Shuaiba-Al Baha の海水淡水パイプラインの水単価（生産費+輸送費）は約 10.58SR/m³、Dawqah-Al Baha の海水淡水パイアルラインの水単価は 6.06SR/m³ である。1m³あたり 100 円水単価が安くなる。
- ◆ 廉価な Dawqah-Al Baha ラインを使うことにより、海水淡化水分だけでも、年間約 27 億円の負担軽減になる
- ◆ また、Dawqah-Al Baha パイプラインの目的は、廉価の海水淡化水を Al Baha 州へ供給するに止まらず、海水淡化水よりもっと廉価なダムで開発された再生可能施水を Al Baha 州や Asir 州へ供給することである。

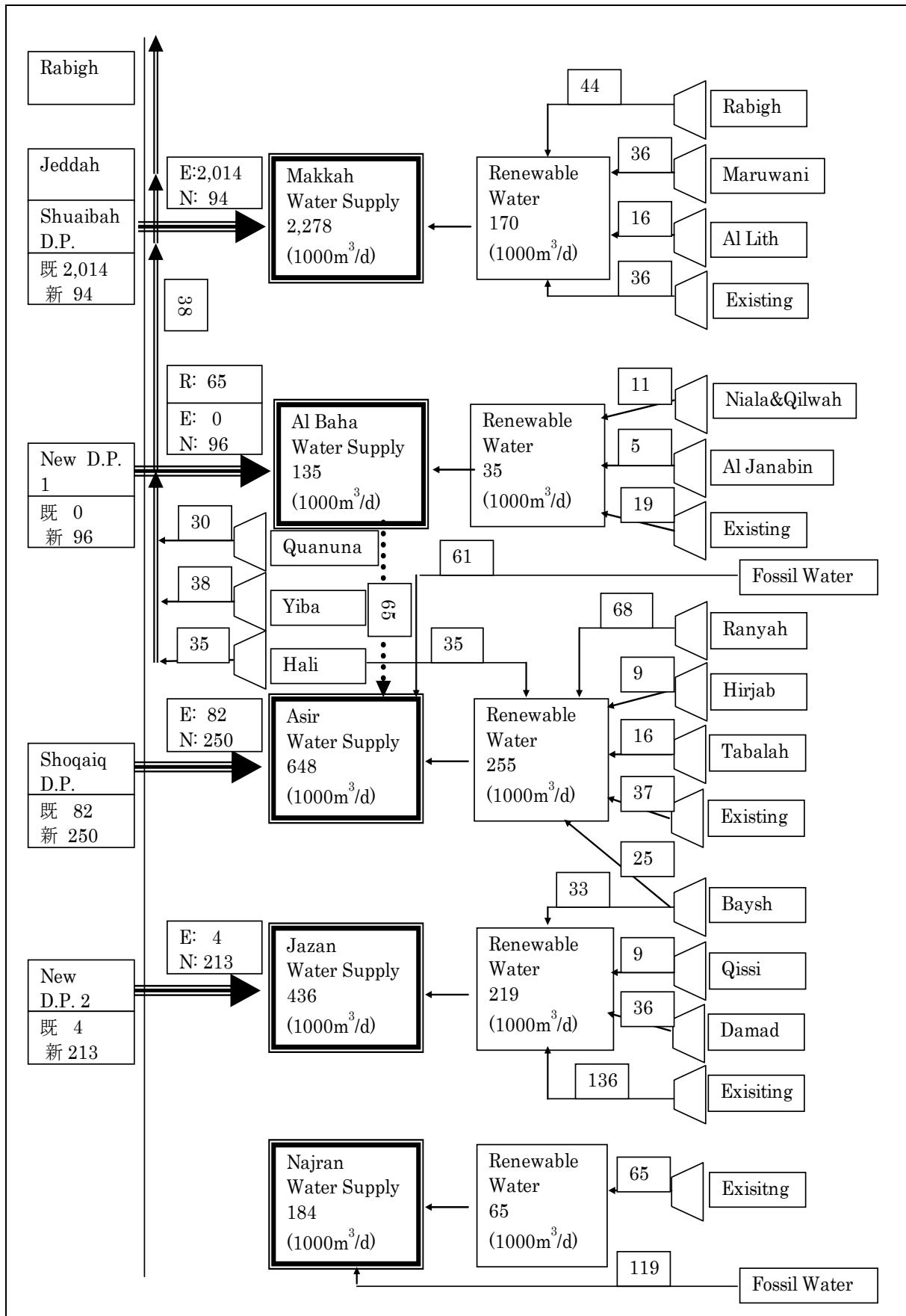


図 B. 5-8 代替案-1 における施設計画概念図とそれによる給水量

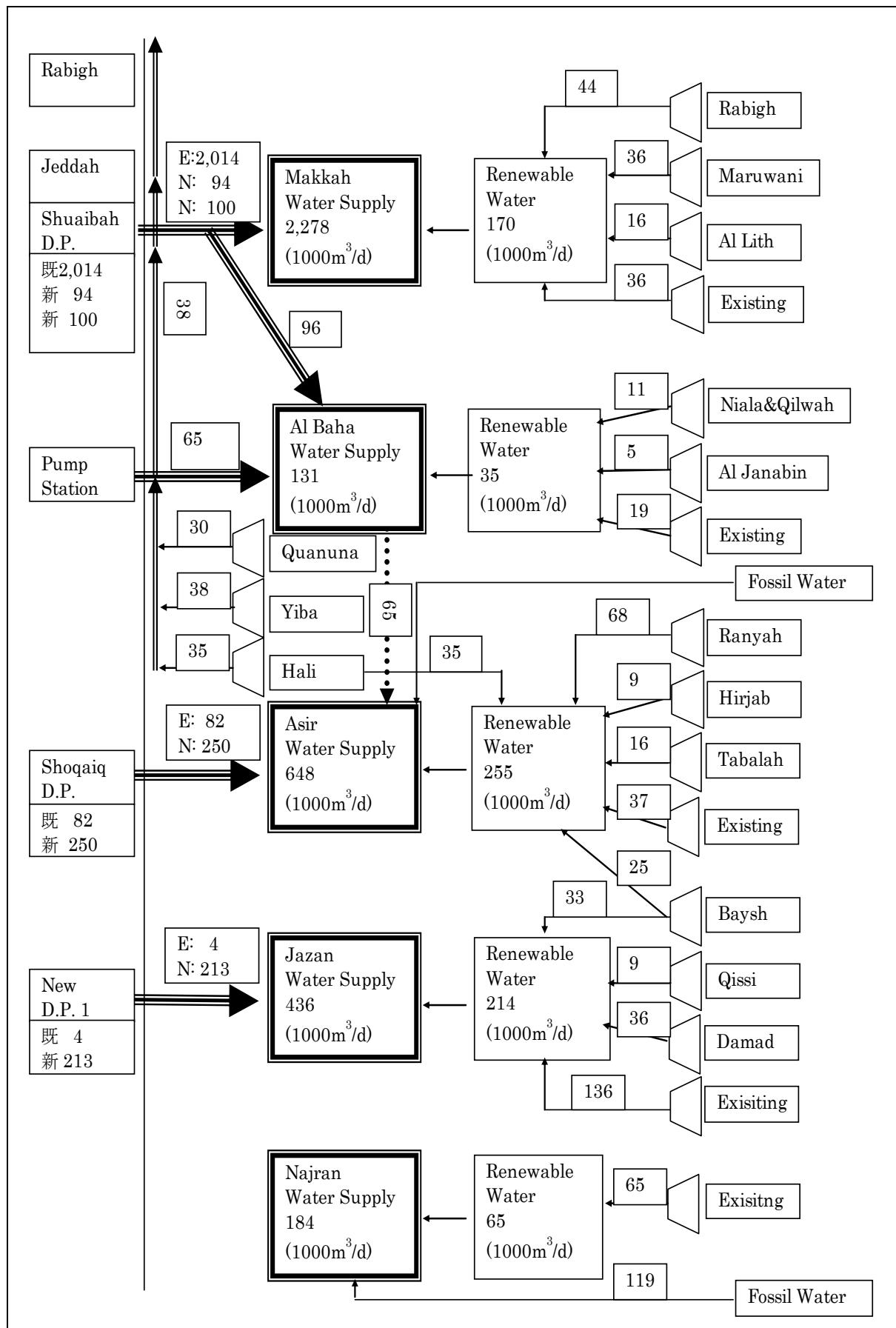
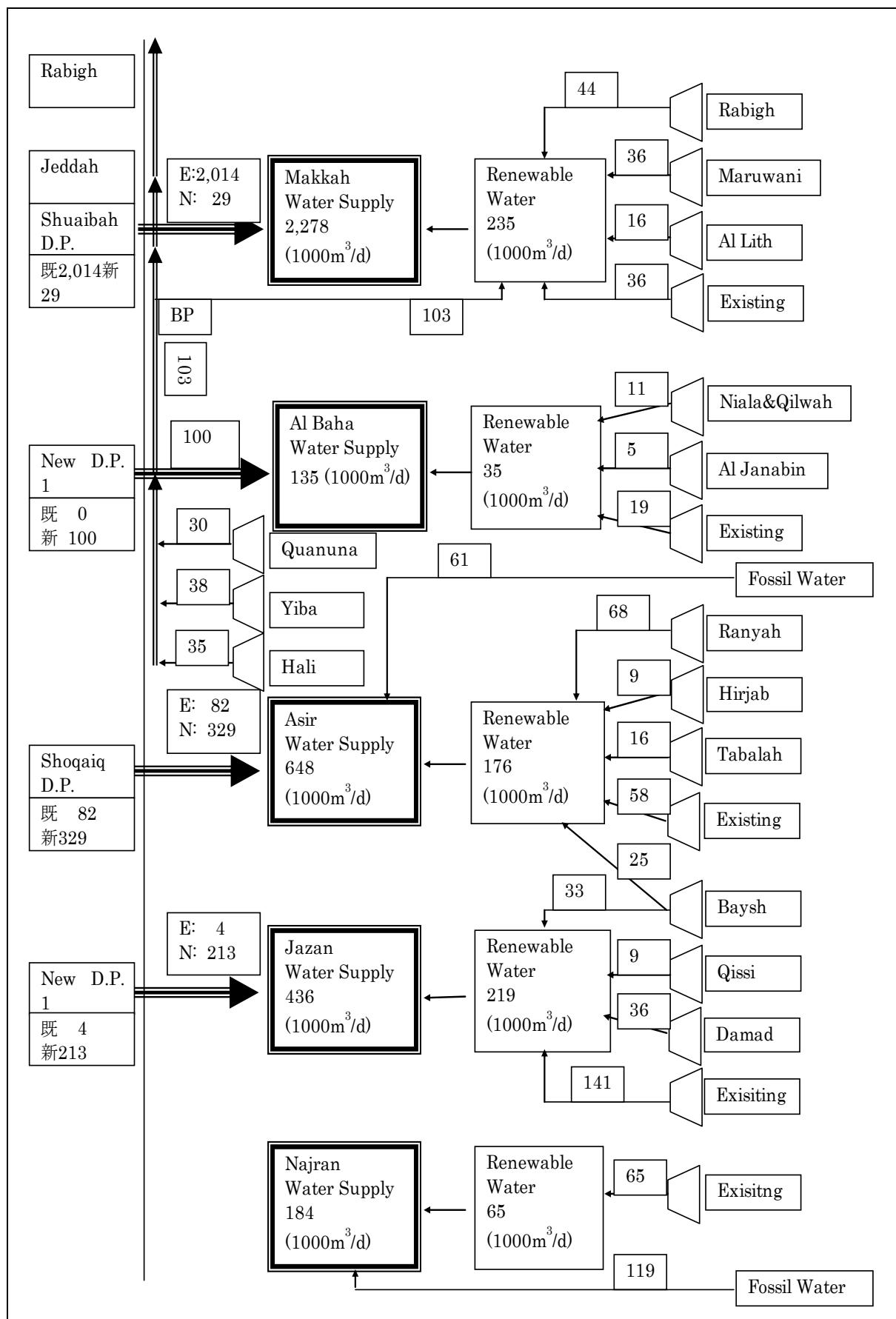


図 B.5-9 代替案-2 における施設計画概念図とそれによる給水量



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

(6) 5州の給水システム

各州の都市用水の開発計画について、2020年と2035年について検討を行う。概算コストについては、既存施設と建設中の施設は建設コストには計上せず、新規開発施設のみ計上する。

目標年における需要を満たすための水資源開発計画は以下のとおりである。

表 B. 5-19 計画目標年の需要量と供給計画

州	目標年	施設名	水資源開発量 (1000m ³ /日)	目標年の水需要 (1000m ³ /日)	バランス (1000m ³ /日)	概算建設コスト (MSR)
Makkah	2020年	再生可能水資源(既存)	36			-
		海水淡水化水(既存合計)	2,014			-
		再生可能水資源(Rabighダム)	44			-
		再生可能水資源(Maruwaniダム)	36			-
		再生可能水資源(Al Lithダム)	16			-
		再生可能水資源(Yibaダム)	38			-
		小計(2020年まで)	2,184	1,733	451	0
	2035年	海水淡水化(拡張)	94			132
Al Baha	2020年	再生可能水資源(既存)	19			-
		海水淡水化水(既存合計)				-
		再生可能水資源(Nilah&Qilwahダム)	11			-
		再生可能水資源(Al Janabinダム)	5			-
		海水淡水化水(新設)	75			105
		小計(2020年まで)	110	83	27	105
	2035年	海水淡水化(拡張)	25			35
		小計(2020年~2035年)	25			35
Asir	2020年	再生可能水資源(既存)	37			-
		海水淡水化水(既存合計)	82			-
		再生可能水資源(Qanunahダム)	30			-
		再生可能水資源(Haliダム)	35			-
		再生可能水資源(Ranyahダム)	68			71
		再生可能水資源(Hirjabダム)	9			9
		再生可能水資源(Tabalahダム)	16			-
		再生可能水資源(Bayshダム)	25			-
Jazan	2020年	化石水(Wajid帯水層)	29			420
		海水淡水化水(拡張)	146			204
		小計(2020年まで)	477	432	45	704
	2035年	再生可能水資源(Haliダム)	35			-
		化石水(Wajid帯水層)	37			-
		海水淡水化水(拡張)	99			139
		小計(2020年~2035年)	166			139
		合計(2035年まで)	648	648	0	843
Najran	2020年	再生可能水資源(既存)	141			-
		海水淡水化水(既存合計)	4			-
		再生可能水資源(Bayshダム)	33			-
		再生可能水資源(Qissiダム)	9			-
		再生可能水資源(Damadダム)	36			-
		海水淡水化水(拡張)	80			112
		海水淡水化水(新設)	35			49
		小計(2020年まで)	338	286	52	161
2035年	海水淡水化(拡張)	98				137
		小計(2020年~2035年)	98			137
		合計(2035年まで)	436	436	0	298

また、水資源開発かかわる以下の水政策・戦略に関して、行動計画を提案する。

◆ 政策 WP4 : 下水処理水の再利用を図る

(7) 下水処理水の再利用

再生可能水資源が限られており、また、海水淡水化水はコストがかさむことから、これらの水資源を補う水資源として下水処理水の再利用を今後進める必要がある。

下水処理能力の向上

- 調査対象地域では一部を除き低い下水道整備水準を計画的に向上させる。
- 下水の処理能力を計画的に向上させる。

下水処理水の利用促進

下水処理水は、安全衛生の観点から、社会的、法制度的に利用の用途に制約がある。今後、下水処理水の用途として想定されるのは、例えば、都市用水としては冷却水として利用される工業用水や街路樹等の緑化用水、また、果樹などの灌漑用水としての利用である。特に灌漑用水としての利用は健康被害が発生しないように安全衛生面で慎重な対応が求められるが、地下水利用において灌漑用水が大きな負荷となっていることから、下水処理水の灌漑用水への利用を促進する必要がある。

- 都市用水や農業用水として利用するため、安全で安定した水質が確保できる処理施設の導入及びその運転技術の導入を促進する。
- 農業への利用が促進されるよう、また、農産物の安全性を確保するため、下水処理水を使用する灌漑設備の導入を促進させる。
- 山間部の農地が散在する地域においては、下水処理水を農地に供給しやすいような分散型の下水処理施設の導入を検討する。
- 下水処理水を使用した農産物の安全に関する農家及び消費者への啓蒙活動を促進する。

5.5.3 行動計画一水資源保全

水資源保全にかかわる以下の水政策・戦略に関して、行動計画を提案する。

◆ 政策 WP5 : 地下水の保全を図る
◆ 政策 WP6 : 水質（表流水・地下水）の保全を図る

(1) 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、それぞれ適切な放流量を決定する。

また、上記の手法を更に発展させ、ダムからの直接取水量と放流量の組み合わせを検討し、(直接取水量+地下水涵養量)の合計値を最大にするダムの運用方法を検討する。上記の方法によって地下水を保全する。

(2) モニタリング計画

雨量観測

水資源開発ポテンシャルを把握し開発計画を立案するために降雨量分布を把握する。現在、調査

域内には複数の雨量観測所が配置されているが、観測体制が不十分であり、必要なデータが得られていない。これが、水資源開発計画立案に当っての障害となっているため、以下の内容につき改善する。また、観測結果をダムの運用計画に活用し旱魃被害の低減に努める。

- 観測所ネットワークの整備
- 観測データの収集
- 観測データの解析

ワジ水位量観測

調査地域では表流水は全てワジを流れている。一方、地下水もワジ底から涵養され、またワジに沿って伏流している。全ての水資源はワジに関係している。したがって、ワジの流量観測を強化し、水資源の開発・管理の基礎情報を入手するため、以下の活動を実施する。

- 観測精度の向上（水位計、流速計の使用）
- 観測体制の強化
- 観測データの解析と活用

地下水位の観測

地下水は紅海側の第四紀層平野地域で大量に揚水されている。一方、過剰揚水のために広域的な地下水位の低下や塩水化が指摘されている。その対策として地下水モニタリング網を強化し、以下の活動によって実態を把握し対策を検討する。

- 地下水位低下発生地域の予測
- 地下水位観測の重点地域の設定
- 地下水位観測網の確立
- 地下水水質観測網の確立
- 観測体制の強化

以上の観測結果を地下水障害防止対策に役立てる。また、観測結果を地下水揚水管理にフィードバックし、持続的地下水開発を実現する。

5.5.4 行動計画－水利用管理

水利用管理にかかる以下の水政策・戦略に関して、行動計画を提案する。

- ◆ 政策 WP7：生活用水の無駄のない利用を促進する
 - ◆ 政策 WP8：工業用水の効率的な利用を促進する
 - ◆ 政策 WP9：農業用水の適切な利用を行う

(1) 都市用水の水需要管理

国家水戦略では「水供給管理から水需要管理へ」とパラダイムの転換が必要であると述べている。再生可能水資源ポテンシャルの推定結果からは、再生可能水資源で将来の都市用水及び工業用水の需要量を満たすことが容易ではないことが予想される。このため、水需要管理の取り組みにより、需要量を抑制することが非常に重要である。水需要管理のための施策は、以下の通りである。

価格付けの導入

価格付け制度は、水需要の抑制に効果的な方法である。価格付けは、利水者に対して、水の価格を通して、適切な負担を求め、価格をとおして消費量の抑制を期待するものである。「サ」国においては、都市用水、農業用水共に政府の補助により非常に安価に水を利用できている。そのため節水意識が育たないといわれており、適切な料金システムの導入による需要管理が必要である。

節水、水保全に関する啓蒙

水保全への関心を高める方法の一つとして、「“3R” キャンペーン（使用量の削減（Reduce）、一度使用した水の再使用（Reuse）、一度使用した水を適切に処理し再利用（Recycle）」を提案する。節水により配水量を減少させることは、水の生産にかかる費用を減ずるだけでなく、排水の処理に要する費用の削減、排水による環境への負荷も減少させることが可能となる。この3R キャンペーンは節水のみならず、環境保全にも貢献できる。

(2) 農業用水の水需要管理

需要管理の観点からは、穀類、飼料作物から野菜、果樹を中心とした作物転換を行うことが考えられ、また、西南地域では果樹、野菜栽培の灌漑における節水が可能である。

作付け転換

農業開発計画については Decision335 を基本とし農業用水の合理的な利用を図る。

作付け転換は行うが作付面積は増加させないものとする。作付転換は食料自給の確保および小規模農家保護の観点から都市近郊を中心とした野菜・果樹栽培に特化したものとする。野菜は2007年に対して倍増、果樹は2007年の生産量を維持していくものとする。野菜の作付けが増加した分は穀類および飼料作物の作付け面積を減少させる必要がある。

節水

西南地域では、果樹、野菜栽培に伝統的な畝間灌漑が主流となっているが、スプリンクラーおよびドリップ等の近代的灌漑方法の導入により節水が可能である。

5.5.5 行動計画—組織・制度の整備

組織・制度の整備にかかる以下の水政策・戦略について、行動計画を提案する。

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

組織及び能力強化に関する施策は、以下の通りとする。

総合水資源管理(IWRM)の導入

調査地域においては水資源が逼迫していることから、再生可能水資源(表流水、地下水)、海水淡水化水、下水処理水といったいろいろな利用できる水資源を効率的に利用する必要がある。また、そのためには複数の州や水系に関する情報の共有が必要となるとともに、利害関係者の範囲が広くなり、そのために水利用にかかる調整に要するマンパワーも大きくなる。

表流水と地下水及びそれ以外の水資源利用の管理を一体的に管理し、また、利害関係者間の調整を行うためには国家水戦略でも提案されているように、総合水資源管理(IWRM)の原則を導入する。

本調査地域で再生可能水資源(表流水、地下水)、海水淡水化水等を総合的に管理する上で想定される既存の利害関係者は次のとおりである。

- ◆ MOWE 及び MOA (本省及び地方事務所)
- ◆ 淡水化事業公社 (SWCC)、水電力生産企業 (IWPP)、水電力会社 (WEC)
- ◆ 国家水会社 (NWC)
- ◆ 農家、農業企業
- ◆ 州政府、ガバナレート機関
- ◆ 給水地域住民

管理情報の共有化とセクター間での調整

再生可能水資源の最大の利用者である農家は、一旦井戸設置が認可され井戸が設置されれば、個別にかつ自由に井戸から取水して来た。このことは、農業用水の使用量が把握できていないこと

から、再生可能水資源を管理しようとすると障害となる。

これまで再生可能水資源の利用や洪水被害防止のために多くのダムが建設されてきた。これらのダムの管理では、どこのどのダムにどれだけの貯水量があり、どのように利用されているかという情報は、それぞれのダムの情報としては本省に報告されていたが、ほかのダムの貯水と総合的に管理するという情報の共有は行われていない。

再生可能水資源を調査対象地域で効率的公平に活用するためには、いろいろな情報が集約されるとともに関係者で共有できることが必要である。

この地域の水資源開発・利用・管理において、効率的で公平な水利用を達成するためには、共有される情報に基づいて、関係セクター等間で以下に示すような調整が行われることが必要である。

- ◆ 水利用セクターの需要量把握とセクター間の需要量の調整
- ◆ 水資源ごとの供給量の調整（関連する、再生可能水資源、海水淡水化水、下水処理水の供給量と供給先割り当ての調整）
- ◆ 再生可能水資源（表流水、地下水）の現状をモニターし、将来の利用可能性を予測する
- ◆ 渇水発生時の利害関係者間での節水調整と水再配分調整を行うこと

水資源施設の管理と組織化

水資源開発施設のモニタリングや地方への水供給を MOWE 地方事務所が行っている。現場での聞き取りから判断すると、日常の施設管理はほとんど外部委託されており、情報はコンサルタント等の請負者が基本的に整理、管理し、MOWE 地方事務所の指示により、本省への報告資料等を作成している状況である。

このような、実務的な管理業務や水資源開発施設による貯水池及び地下水管理は、事業の効率アップのために、すでに機能している NWC のような、MOWE が監督して実務については民間の能力を活用する組織を提案する。

農業用水セクターの組織化

調査地域においては、農業用水セクターの水資源利用量が大部分を占めるため、この地域における水供給を持続的、効率的に行うためには農業用水セクターが IWRM の枠組みに参加することが不可欠である。

現在、水利用に関して農業用水セクターとしての組織化はされておらず、個々の農家が、それぞれに井戸等から必要な用水を確保している状態である。広域水供給システムにおいて、提案する RWPC (Renewable Water Production Corporation : 再生可能水生産公社) や MOWE、MOA が農業用水セクターの個々の利水者と調整を行うことは現実的には不可能である。そのため農業用水セクターを取り纏め、外部に向かって調整の窓口となる組織を設置することが、必要と考えられる。

このため、現在設置されている農業市場組合を発展的に組織強化し、農業協同組合(ACA : Agricultural Cooperative Association)とし、農家の営農支援や技術指導を行うとともに、これに農業用水セクターの窓口としての役割を持たせることを提案する。ACA は農業用水セクターの代表として水利用に関する調整窓口となるとともに、農業用水セクター内部に向かっては、調整結果を遵守させる強制力を持たせる必要がある。

MOWE の能力強化

持続的な水資源利用・管理を効率的かつ公平に行うためには公的機関である MOWE の監督・指導が必要である。そのため、MOWE の水資源部門の職員の IWRM に関する実務的能力向上を研修や先進地の現地見学などにより図る必要がある。また、関係するすべて組織の職員等についても能力強化により、流域の全体の機能向上を図ることが必要である。

特に、MOWE (本省、地方) においては指導的立場にあり、ステークホルダー間の調整を担う必要があることから、今後強化する組織の準備段階からそれに関係する職員等を選抜し参加されることにより組織の役割の理解を深めさせるとともに、実務上必要な能力を身につけさせる。

5.5.6 5州の行動計画の要点

以上の検討結果を基に、各州の都市用水の供給、農業用水の使用、水資源開発・利用に当たっての調整事項等についての行動計画の要点を以下に示す。

(1) Makkah 州

都市用水の供給

- ◆ 現在計画されている海水淡水化プラントを実施に移し、確実に都市用水の水源を確保する。
- ◆ 2020年までに、現在発注済みのダムの建設を終えて、再生可能水資源の利用促進を図り、それ以降の都市用水の不足に対しては海水淡水化プラントの拡張により対応する。

農業用水の利用

- ◆ 水資源ポテンシャルからは、Makkah 州の農業は 2007 年の作付け面積をおおむね継続可能と評価する。今後は、Makkah、Jeddah といった大都市を抱えることから、新鮮な果物や野菜の需要が増加することが予想され、果樹、野菜の生産に重点をおくように作付け体系を調整する。
- ◆ 地下水位の低下やそれに伴う水質の劣化のさらなる進行が危惧され、今後はさらに節水につとめ、生産量を確保しつつ水使用量を削減する。
- ◆ 節水のために、穀物類から果樹、野菜に作物を見直すことによって、ドリップ灌漑のような効率的な灌漑の導入を促進する。
- ◆ Jeddah や Makkah といった大都市では計画目標年では、大量の下水が発生し処理される。これらを農業用水として利用するため、今後農業用水の需要地域を特定し、処理場からの供給計画を策定する。
- ◆ 農家レベルでの利用を促進し、かつ、下水処理水を使用する農産物の安全確保の面から、下水処理水を利用する灌漑施設の導入促進を図る。

開発上の調整事項

- ◆ Makkah 州に建設されるダムのうち Qanunah ダムや Hali ダムの開発水量が Asir 州で利用される計画としており、現在建設中のダムが完成するまでに、両州のあいだで水利用のルールの詳細を合意する。
- ◆ 新設ダムの運用方法、水配分のルールについて、完成までに詳細を合意する。
- ◆ 水利用のルールが明確になっていない主要な既設ダムについても、再生可能水資源の効率かつ公平な利用の観点から水利用のルールを検討する。
- ◆ 新設ダムや既存ダムの運用方法、水配分のルールの検討に際しては、既存の利水者の水利用の実態を把握とともに、その水利用に支障がないように配慮する必要がある。

(2) Al Bahah 州

都市用水の供給

- ◆ 州内に良好なダムサイトが少ないとことから、将来の都市用水の供給に関しては、再生可能水資源の開発よりも海水淡水化による供給を増強する。
- ◆ 2020 年までに既に発注済みのダムを完成させるとともに、新たな海水淡水化プラントを Dawqah 地点に建設し、また併せて、Dawqah から Al Bahah までの送水管路を建設し、再生可能水資源の不足を補う。
- ◆ 2020 年以降の都市用水の不足に対しては、Dawqah 海水淡化プラントを拡張する。

農業用水の利用

- ◆ 水利用としては、今後さらに果樹、野菜の生産に重点をおくように作付け体系を調整するとともに、ドリップ灌漑等の節水灌漑の導入を促進することにより使用水量を削減する。
- ◆ 下水処理水の再利用の促進を図る。その場合、山間地であり、小規模農地が分散していることから、下水処理水の供給が農地の分散に対応しやすい、分散型処理システムの導入を検討する。

- ◆ 農家レベルでの利用を促進し、かつ、下水処理水を使用する農産物の安全確保の面から、下水処理水を利用する灌漑施設の導入促進を図る。
- ◆ 地下水位の低下やそれに伴う水質の劣化も兆候がみられることから、今後はさらに節水につとめ、生産量を確保しつつ水使用量を削減する。

開発上の調整事項

- ◆ Makkah 州に建設される Qanunah ダム等の開発水を利用する場合があるため、これらの施設の完成までに、異常渇水等の緊急時の水利用ルールについて検討する。
- ◆ 新設ダムの運用方法、水配分のルールについて、完成までに詳細を合意する。
- ◆ 水利用のルールが明確になっていない主要な既設ダムについても、再生可能水資源の効率かつ公平な利用の観点から水利用のルールを検討する。
- ◆ 新設ダムや既存ダムの運用方法、水配分のルールの検討に際しては、既存の利水者の水利用の実態を把握するとともに、その水利用に支障がでないように配慮する必要がある。

(3) Asir 州

都市用水の供給

- ◆ 既に発注済みの Tabalah ダムの他、新たに Ranyah ダム等を引き続き実施し、2020 年までに再生可能水資源の開発を進め、また、Makkah 州内の Qanunah ダム等及び Jazan 州に設置されている Baysh ダムから Asir 州へ供給する。
- ◆ これらのダム群の開発でも不足する都市用水を Shuqaiq 海水淡水化プラントの拡張により供給する。
- ◆ Asir 州の東部地区(Tath Lith)では、Wajid 帯水層からの化石水により都市用水の不足を補う。

農業用水の利用

- ◆ 水利用としては、今後さらに果樹、野菜の生産に重点をおくよう作付け体系を調整するとともに、ドリップ灌漑等の節水灌漑の導入を促進することにより使用水量を削減する。
- ◆ 下水処理水の再利用の促進を図る。その場合、山間地であり、小規模農地が分散していることから、下水処理水の供給が農地の分散に対応しやすい、分散型処理システムの導入を検討する。
- ◆ 農家レベルでの利用を促進し、かつ、下水処理水を使用する農産物の安全確保の面から、下水処理水を利用する灌漑施設の導入促進を図る。
- ◆ 地下水位の低下やそれに伴う水質の劣化も兆候がみられることから、今後はさらに節水につとめ、生産量を確保しつつ水使用量を削減する。

開発上の調整事項

- ◆ Asir 州は Makkah 州に建設されるダムのうち Qanunah ダム等及び Jazan 州に建設されている Baysh ダムから再生可能水資源を供給される計画としており、今後、現在建設中のダムが完成するまでに、両州のあいだで水利用のルールの詳細を合意する。
- ◆ 新設ダムの運用方法、水配分のルールについて、完成までに詳細を合意する。
- ◆ 水利用のルールが明確になっていない主要な既設ダムについても、再生可能水資源の効率かつ公平な利用の観点から水利用のルールを検討する。
- ◆ 新設ダムや既存ダムの運用方法、水配分のルールの検討に際しては、既存の利水者の水利用の実態を把握するとともに、その水利用に支障がでないように配慮する必要がある。

(4) Jazan 州

都市用水の供給

- ◆ これまで Jazan 州では都市用水のほとんどを再生可能水資源により供給してきたが、今後は再生可能水資源の開発と平行して、海水淡化による水資源開発も行う。
- ◆ 2020 年までに既に発注済みの Baysh ダム等を完成させるとともに、海水淡化プラントを

Sabya 地点に新設し、送水管路の建設を合わせて実施する。

- ◆ 2020 年以降の都市用水の不足は新設された海水淡水化プラントの拡張により対応する。

農業用水の利用

- ◆ 今後は作付け面積の縮減の検討の他、使用水量の少ない果樹、野菜の生産に重点をおくように作付け体系を調整するとともに、ドリップ灌漑のような効率的な灌漑の導入を促進する。
- ◆ 地下水位の低下やそれに伴う水質の劣化も兆候がみられることから、今後は作付け面積の縮減及びさらなる節水につとめ、水使用量を削減する。
- ◆ 今後は作付け面積の縮減の検討の他、使用水量の少ない果樹、野菜の生産に重点をおくように作付け体系を調整するとともに、ドリップ灌漑のような効率的な灌漑の導入を促進する。
- ◆ 下水処理水の再利用を促進する。特に、大量の下水が排水される Jizan 周辺の近郊農業については、農業用水の需要地域を特定し、下水処理場からの供給計画を策定する。
- ◆ 農家レベルでの利用を促進し、かつ、下水処理水を使用する農産物の安全確保の面から、下水処理水を利用する灌漑施設の導入促進を図る。

開発上の調整事項

- ◆ Jazan 州に設置されている Baysh ダムは Asir 州にも水供給を行う計画としているため、両州のあいだで水利用のルールの詳細を合意する。
- ◆ 新設ダムの運用方法、水配分のルールについて、完成までに詳細を合意する。
- ◆ 水利用のルールが明確になっていない主要な既設ダムについても、再生可能水資源の効率かつ公平な利用の観点から水利用のルールを検討する。
- ◆ 新設ダムや既存ダムの運用方法、水配分のルールの検討に際しては、既存の利水者の水利用の実態を把握するとともに、その水利用に支障がでないように配慮する必要がある。特に Jazan 州では、農業用水として再生可能水を大量に利用している実績があることから、水利用ルールの検討段階で、縮減が必要となる将来の農業計画も合わせて議論する必要がある。

(5) Najran 州

都市用水の供給

- ◆ Najran 州では新規ダムによる水資源開発は期待できず、また、内陸部に位置することから今後の都市用水の不足は化石地下水により補う。
- ◆ 2020 年までに Wajid 帯水層の化石地下水を導水し、不足水量を確保する。
- ◆ 2020 年以降も、都市用水の不足は化石地下水で確保する。

農業用水の利用

- ◆ 水資源ポテンシャルからは、Najran 州の農業は 2007 年の作付け面積からおおむね 30% 程度縮減する。
- ◆ 水使用量の少ない果樹、野菜の生産に重点をおくように作付け体系を調整するとともに、作付け面積の縮減、ドリップ灌漑のような効率的な灌漑の導入を促進する。
- ◆ 地下水位の低下やそれに伴う水質の劣化のさらなる進行が危惧され、今後はさらに節水につとめ、生産量を確保しつつ水使用量を削減する。
- ◆ Najran 州では州都の Najran に人口が集中しており、下水処理水の発生が集中する。農業用水として利用可能な再生可能水資源が不足していることから、Najran 周辺では、下水処理水の農業用水への利用を促進させるため、農業用水の需要地域を特定し、下水処理場からの供給計画を策定する。
- ◆ 農家レベルでの利用を促進し、かつ、下水処理水を使用する農産物の安全確保の面から、下水処理水を利用する灌漑施設の導入促進を図る。

開発上の調整事項

- ◆ Najran 州の水利用は他の州との連絡もなく独立系となっているため、州内で効率的かつ公平な水利用を図れるルールを整備する。
- ◆ 化石地下水は非循環資源であるため、将来の地域の水利用を温存することも視野に入れた利用ルールとする。

第6章 マスタープラン(M/P)策定の対象地域の選定

第5章までの検討結果から、各州の水資源開発、利用の特徴と今後の開発、利用の基本方針は、以下のように整理できる。

Makkah 州

- Makkah 州は、現在においても、淡水化水への依存度が高い州である。今後においては、これに加えて下水処理水が淡水化水に匹敵する生産量となることが予測される。
- 大ダムが建設中であるが、需要量に比して、再生可能水資源ポテンシャルが小さいことから、目標年における州人口、工業等を考慮すると、供給量の増加に対しては、淡水化水、下水処理水等の非在来型水資源に供給の多くを頼らざるを得ない。

Al Baha 州

- Al Baha 州の現在の水源は、Aqiq ダムとその下流の井戸群ならびに隣接 Makkah 州の Wadi Turba 支川 Wadi Aradah (Aradah) の井戸群である。
- 将来的には、Al Shuaiba 淡水化プラントの延伸により、日量 40,000m³ (年間 14.6MCM/年) の飲料水が供給され、Al Baha と Bilijurashi の不足がほぼ解消される見込みとなっている。
- 淡水化水の供給は、Al Baha と Bilijurashi を中心とした区域だけであり、淡水化水が供給されない Mukwah、Qilwah を中心とする区域においては、早急な在来型のダム、井戸による再生可能水資源の開発が必要な状況にある。
- 再生可能水資源の比率は 5 州に中では高く、当面の水資源開発・利用としては、再生可能水資源の開発が最も適している。

Asir 州

- 都市用水については、現在は、Shuqaiq 淡水化水から供給があるが、不足しており、時間給水をせざるを得ない状況にある。下水処理水については、ほぼ全量を農業用として利用している。
- 将来的には、再生可能水資源の開発・利用が 7 割、淡水化水と下水処理水の開発・利用が 3 割の配分である。
- 再生可能水資源については、Wadi Itwad における開発がほぼ終了し、2008 年 11 月から Maraba ダム、Itwad ダムが湛水を開始しており、これらからの水供給が今後、期待できる。再生可能水資源の比率も高く、今後も継続的な開発、利用が必要である。

Jazan 州

- 主要産業が農業であり、その水源は全量が地下水（再生可能水資源）である。農業に比べて、州における都市用水の供給量は比較的小さいが、Al Shuqaiq 淡水化水の供給を受けている。都市用水の主要水源は、井戸群とダム群(Baysh Dam, Damad Dam)であり、Baysh ダムからは、将来的には、日量 80,000m³ (29.2MCM/年) の供給が見込まれている。
- 水資源の 8 割以上が再生可能水資源であり、特に農業用水における削減や節水対策、水資源としての保全対策が州全体で必要である。
- Jazan 州の水資源開発・利用は、今後とも再生可能水資源が主体であり、これらに対する計画の策定が必要である。

Najran 州

- Najran 州の現況水資源は、すべて地下水（再生可能水資源）であり、これらの水源は、州の西側の 4 つの谷部に集中している。上水道のネットワークが整備されておらず、トラックによる輸送、供給となっている。

- 農業用水は、使用量の 8 割以上を占めるが、効率的な水利用がなかなか進まず、ロスも大きい。Wadi Najran 沿いは地下水の低下が進んでおり、過剰な取水により、Najran 市東部では地盤沈下、地割れも見られることから、保全、涵養対策が必要である。
- 淡水化水の延伸は、Najran 州へは計画されていないが、州の西側ならびに北側に広域に位置する Wajid 帯水層については、MOWE(GTZ)によって、包蔵水量調査が進められており、将来的には、この帶水層からの水供給が予定されている。
- 下水処理水は、現在は処理施設が十分ではなく再利用は行われていないが、将来的には、全水資源量の 25%程度の生産量が見込まれている。
- 再生可能水資源（地下水）の占める割合が比較的大きいものの、上記のような問題が生じていることから、再生可能水資源については、保全する方向が望ましく、今後の開発、利用の主体は、Wajid 帯水層とする。

上記の整理結果から、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。

Makkah 州は、現況でも淡水化水のような再生可能水資源以外の水資源への依存度が高い。再生可能水資源ポテンシャルが小さいこと、州人口、工業等を考慮すると、供給量の増加に対しては、再生可能水資源以外の淡水化水等の水資源に頼らざるを得ない。

Najran 州については、再生可能水資源の占める割合が比較的大きいものの、地下水低下や地盤沈下等が生じていることから、開発、利用よりは、保全対策を進める方向が望ましい。水資源としての今後の開発の主体は、Wajid 帯水層になるものと想定される。

以上から、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 策定対象州として次の 3 州を選定する。

- ◆ Al Baha 州
- ◆ Asir 州
- ◆ Jazan 州

パート-C 水マスタートップラン

第1章 水マスタープラン(M/P)策定の基本コンセプト

1.1 水 M/P の目的と構成

(1) 水 M/P の目的

水 M/P は、在来型水資源と非在来型水資源を適切に開発・保全・利用することにより、都市用水、工業用水を給水し、これらにより、Al Baha 州、Asir 州、Jazan 州の社会経済の発展、人々の快適な生活に貢献することを目的としている。水 M/P の計画目標年は、現在から 25 年後の 2035 年とする。

(2) 水 M/P の構成

水 M/P は、次のような内容から構成されている。

- ◆ 水資源開発計画
 - － 在来型水資源（表流水・浅層循環地下水・深層化石地下水）
 - － 非在来型水資源（海水淡水化水・下水処理水）
- ◆ 給水計画（都市用水・工業用水）
- ◆ 水需要の管理（都市用水、工業用水、農業用水）
- ◆ 運営維持管理計画
 - － 総合的な水資源管理
 - － モニタリングプラン
 - － 水資源保全
 - － 組織・管理体制
 - － 人材育成・能力開発
 - － 水利用の啓蒙活動
- ◆ 施設の基本設計・概算事業費の積算
- ◆ 事業実施計画
- ◆ 水 M/P の評価

1.2 策定方針

水 M/P は、B 編の第 5 章において策定された南西地域水資源開発・利用・管理に関する水政策・戦略・行動計画に基づいて策定されている。

(1) 水資源開発計画

<開発対象となる水資源・開発方法・利用範囲>

開発対象となる水資源・開発方法・利用範囲を表 C. 1-1 に示す。

表 C. 1-1 開発対象となる水資源・開発方法・利用範囲

水資源		開発方法	利用範囲
在来型 水資源	◆表流水	<ul style="list-style-type: none">• ゲムによる貯留• 貯留水の直接利用• 貯流水を放流して地下水涵養	<ul style="list-style-type: none">• 都市用水• 工業用水• 農業用水
	◆浅層地下水(循環水)	<ul style="list-style-type: none">• 浅層井戸からのくみ上げ	
	◆深層化石地下水	<ul style="list-style-type: none">• 深層井戸からのくみ上げ	
非在来型 水資源	◆海水淡水化水	<ul style="list-style-type: none">• 海水淡水化プラントによる造水	<ul style="list-style-type: none">• 都市用水• 工業用水
	◆下水処理水	<ul style="list-style-type: none">• 下水処理水による造水(3 次処理)	<ul style="list-style-type: none">• 都市用水の一部(緑化)• 工業用水の一部• 農業用水

<在来型水資源開発>

開発対象

在来型水資源は、表流水、浅層地下水（循環水）および深層化石地下水である。深層化石地下水は計画対象地域には存在しないので、在来型水資源の開発については、再生可能水資源である表流水と浅層地下水（循環水）を開発対象とする。

表流水開発

表流水開発の方法としては、1)貯留ダムによる開発、2)貯留ダムと下流滯水層との連携による方法および3)リチャージダムによる方法を検討する。

開発された表流水は、特定あるいは不特定に利用される。特定利用は、新規の給水事業（都市用水や工業用水に利用される）や新規の灌漑事業を含む。不特定利用は、ダム開発によって影響を受ける利用者への補償水量である。開発水の利用の優先順位は、不特定利用が第一順位で第二順位は特定利用（新規の利用）が一般ルールである。また、特定利用の優先順位は、給水が第一順位で第二順位は灌漑事業が一般ルールである。このような状況を考慮して、ダムによる開発の安全率（対旱魃への安全度）は97%としている。この安全率97%の意味は、次のような状況である。

シミュレーション期間30年間の貯水池水収支期間の3年間に予定開発量の30%程度の不足が出たケースの予定開発量を計画開発量とする。水不足が発生する3年間については、ダム下流の地下ダムや地下滯水層との連携により、不足する水量を確保できると思われる所以、給水については、対旱魃への安全度は十分に確保されると判断される。しかし、次段階（F/S レベル）の詳細解析により確認の必要がある。

浅層地下水開発

大型の都市用水や農業用水として開発・利用できる地下滯水層は、既に開発されており、「大型貯水ダムと下流地下滯水層との連携による表流水・地下水開発」および「リチャージダムを利用した地下水開発」以外には、大型の地下水開発は不可能である。

<非在来型水資源開発>

非在来型水資源開発の対象は、海水淡水化水と下水処理水とする。

海水淡水化水

再生可能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海水淡水化水事業の継続・拡張は不可欠である。海水淡水化水事業は、気候の年変動の影響を受けない安定水源であるが、再生水生産コストと比べて依然として生産コストが高いので輸送距離の最小化し、輸送コストを減らすことすることが重要である。

下水処理水

2009年に策定された「Investigation and Engineering Design for Treated Wastewater Reuse in the Kingdom of Saudi Arabia」によれば、計画対象区域の下水処理事業が計画されている。これらの処理水を再利用する次のような提案をする。

- ◆ 都市用水や工業用水としての利用
- ◆ 農業用水としての利用
- ◆ 海水侵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）

(2) 給水計画

給水施設の整備計画は、B編の第3章において検討された水需要予測（OPTION-1）に基づいて立案検討する。この水需要予測（OPTION-1）は、「サ」国政府が給水能力の目標値としている値（20%の漏水を含む生産能力）に近いが、下水処理水の利用（都市用水量の5%、工業用水量の30%）を考慮して、需要量を控除している。さらに、水道普及率については、大都市では2020年までに100%、都市では2010年の50%から2035年に100%、地方コミュニティでは、2010年の40%から2035

年に 100%としている。

主要水源として、在来型水源であるダム、浅層地下水、深層化石水（Wajid 帯水層）、非在来型水源である海水淡水化水を対象とした。在来型の水源については、既に MOWE により計画されている各水源の計画給水量を採用している。

水輸送ルートとして、B 編の第 5 章で選定した紅海水ライフルайн（代替案-1）を基本とした。

（3） 水需要の管理

都市用水

都市用水の使用水量を需要側で減少させるために、需要特性に応じた水需要縮減対策を検討している。また、都市用水の需要に関する感度分析の結果を用いて、需要変動によって生ずる経済的な効果について検討する。評価ケースは、1) 給水原単位の 10% 低減、2) 現行給水単位による需要、3) 漏水率の 5% 改善の場合である。いずれの場合も計画目標年（2035 年）における需要を仮定した。さらに、これらの検討結果を踏まえて、今後の需要管理に関する提案を行う。

農業用水

灌漑水量については、水資源ポテンシャルが十分ではない現状から、灌漑水量の需要管理が重要であり。この観点からは、MOA による Decision335 の方針に従って、飼料作物、穀類のような単位使用水量の大きい作物から近郊都市の需要増が期待できる果樹や単位使用水量の小さい野菜への作付転換が重要である。また、下水処理水の灌漑利用も促進されるべきである。これらの検討を踏まえて、各州ごとの農業に提案を行う。

（4） 運営維持管理

水資源の開発利用のための運営維持管理については、以下のような事項を検討する。

- ◆ 総合水管理システム（ダム・紅海水ライフルайнおよび管理組織）
- ◆ ダムを利用した地下水涵養（ダムと下流地下滞水層との連携・リチャージダムと連携した地下水の開発）
- ◆ モニタリング（雨量・ワジ水位/流量・地下水位）
- ◆ 水資源の保全（表流水・地下水）
- ◆ 組織・管理体制
- ◆ 人材育成、能力開発
- ◆ 水利用の啓蒙活動

第2章 水資源開発

2.1 在来型水資源

調査対象区域（Al Baha 州、Asir 州および Jazan 州）では、在来型水資源としての再生可能水資源（表流水と浅層地下水）は存在するが、非再生可能水資源（化石地下水）は存在しない。調査対象区域では、多くのダムが建設済あるいは建設中である。調査団によるグーグル写真判読や地形図（1/5 万分）調査から、有望な大規模貯留ダムは既に建設済みか建設中であると判断された。表流水の開発は、このようなダムによって実施される。一方、大型の都市用水や農業用水として開発・利用できる地下滯水層は、既に開発されており、ダムを利用して地下水涵養以外には大型の地下水開発は不可能である。

2.1.1 再生可能水資源の開発手法

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。（図 C. 2-1 参照。）

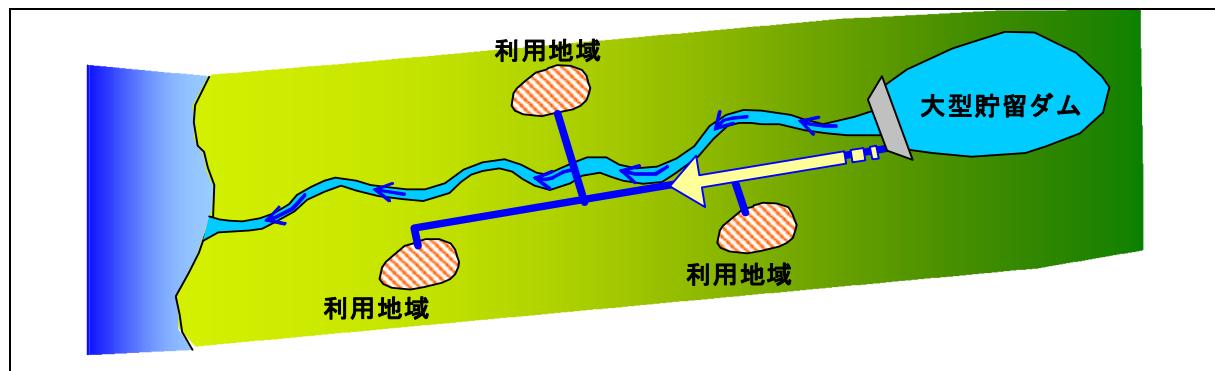


図 C. 2-1 大型貯水ダムによる表流水開発

大型貯水ダムと下流地下滯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、下流の滯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。（図 C. 2-2 参照。C 編 5.2 章参照。）

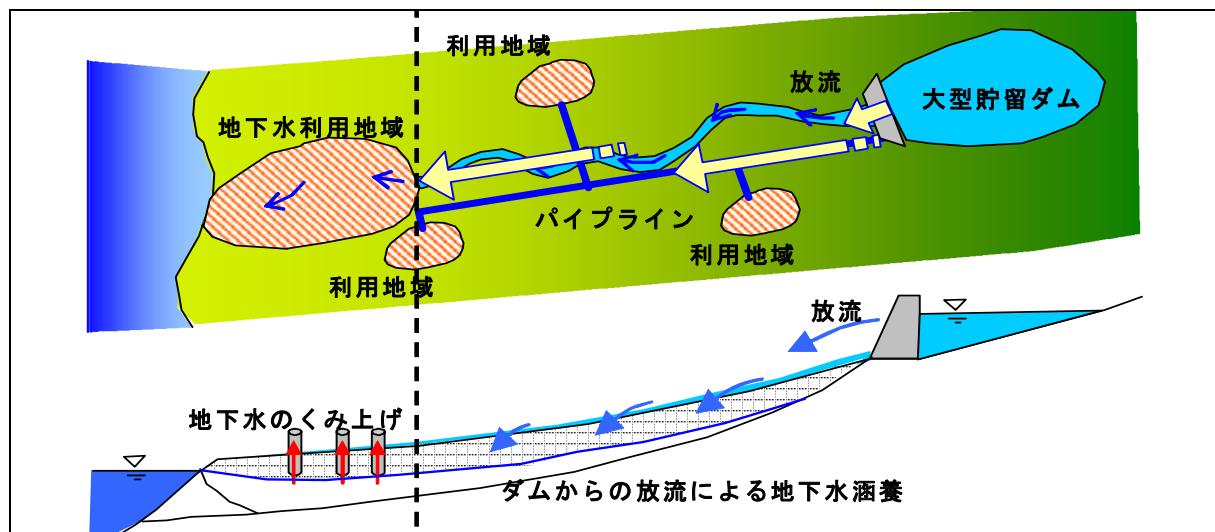


図 C. 2-2 大型貯水ダムと下流地下滯水層との連携による表流水・地下水開発

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。(図 C. 2-3 参照。C 編 5.2 章参照。)

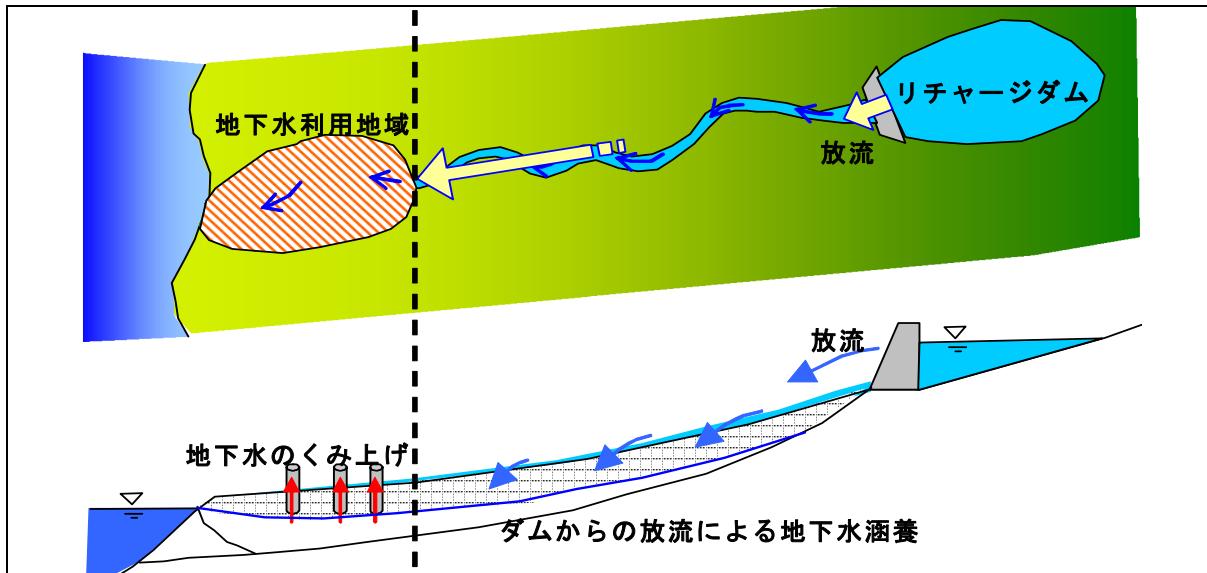


図 C. 2-3 リチャージダムを利用した地下水開発

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

調査対象区域の今後の給水計画や灌漑計画の対象となるダムは表 C. 2-1 に示す通りである。

表 C. 2-1 3 州に関する今後の給水計画や灌漑計画の対象となるダム

州	状態	ダム名	河口の位置	流域面積(km ²)	年平均流量(MCM/Y)	総貯水容量(MCM)	比流量*1(MCM/Y/km ²)	比貯水容量*2(Y)
A1 Bahia	U/C	Aradah	東(砂漠)	304	15.2	68.0	0.050	4.5
Asir	Exi.	King Fahd	東(砂漠)	7,600	69.1	325.0	0.009	4.7
Asir	U/C	Tabalah	東(砂漠)	863	12.3	68.4	0.014	5.6
Asir	U/C	Ranyah	東(砂漠)	4,375	99.6	219.8	0.023	2.2
Asir	U/C	Hirjab	東(砂漠)	788	16.8	4.6	0.021	0.3
Jazan	Exi.	Jizan	西(紅海)	1,317	78.9	51.0	0.060	0.6
Jazan	U/C	Baysh	西(紅海)	4,600	104.6	193.6	0.023	1.9
Jazan	U/C	Damad	西(紅海)	907	61.5	55.5	0.068	0.9
Makkah	U/C	Hali	西(紅海)	4,843	122.3	249.9	0.025	2.0
Makkah	U/C	Qanunah	西(紅海)	2,000	21.3	79.2	0.011	3.7
Makkah	U/C	Yiba	西(紅海)	2,242	81.3	80.9	0.036	1.0
合計				29,839	682.9	1,395.9	0.023	2.0
		合計	東(砂漠)	13,930	213.0	685.8	0.015	3.2
		合計	西(紅海)	15,909	469.9	710.1	0.030	1.5

[Note] *1: 比流量=年平均流量/流域面積、*2: 比貯水容量=総貯水容量/年平均流量

(1) 開発流量の計算手順

上表から分かるように、幾つかのダムの貯水容量は、年平均流入量の数倍にもなるダムがあるので、経年貯留タイプのダム・貯水池として開発計算を行う。これらのダムによる開発流量(給水、灌漑および不特定利用のために開発される水量)は次の手順で求める。Baysh ダムおよび Hali ダムを計算事例として示す。(図 C. 2-4 から図 C. 2-8 を参照。)

貯水池の水収支式

貯水池の水収支は次のような式で表される。

$$\begin{aligned}\Delta V(i) &= V(i) - V(i-1) \\ &= Q_{in}(i) - Q_{sp}(i) - E(i) - Q_{dv}(i)\end{aligned}$$

ここで、

- $\Delta V(i)$ = 時刻(i)から時刻(i-1)までの Δt 時間の貯水池の変化量
 $V(i)$ = 時刻(i)の貯水池容量
 $V(i-1)$ = 時刻(i-1)の貯水池容量
 $Q_{in}(i)$ = 時刻(i)から時刻(i-1)までの Δt 時間の貯水池への流入量
 $Q_{sp}(i)$ = 時刻(i)から時刻(i-1)までの Δt 時間の洪水吐からの流出量
 $E(i)$ = 時刻(i)から時刻(i-1)までの Δt 時間の貯水池からの蒸発量
 $Q_{dv}(i)$ = 時刻(i)から時刻(i-1)までの Δt 時間の開発流量
 Δt = 計算刻み(計算単位: 1月)

貯水池容量

有効貯水容量は、計画値が公表されていないので、総貯水容量の80%と仮定した。また、計算開始時(1975年1月)の貯水量はゼロとした。

貯水池への流入量

1975年から2004年までの30年間の日雨量に基づいて前述したSWATモデルで求められた流量を用いて計算されている。ただし、計算単位は1月としている。

洪水吐からの流出量

ダムの有効容量を超える流量が発生する場合は、洪水吐を通じて貯水池下流に放流する。従って、この流量は開発対象から除外する。

貯水池からの蒸発量

貯水池湖面からの蒸発量は、日蒸発量5mmとして求めている。

開発流量の構成

本調査で検討する開発流量は、特定利水量と非特定利水量で構成される。特定利水量は、新規の給水や灌漑を目的とした利水量である。非特定利水量は、ダム下流の既存の地下水利用量である。これらの利用量が、新規の給水流量や灌漑流量で補償される場合は、非特定利水量はゼロとなる。

開発流量の旱魃への安全度

30年間の貯水池水収支期間の3年間に予定開発量の30%程度の不足が出たケースの開発量を計画開発量とする。例えば、毎年の開発量が100とすると、30年間不足なく開発できた場合は開発量の総計は3000となるが、3年間は210(=70+70+70)、残りの27年間は2700(毎年100)となり30年間の合計は、2910となる。従って、この場合の年間開発量は2910となり、30年間不足なく開発できた場合の開発量3000に対して97%(=2910/3000)となる。このケースの場合、100をダムの計画開発量とする。

水不足が発生する3年間については、ダム下流の地下ダムや地下滯水層との連携により、不足する水量を確保できると思われるが、詳細の解析により確認の必要がある。

(2) 開発流量の計算結果

計算結果を表C.2-2に示す。この表から次のようなことが分かる。

- ◆ Haliダム、Bayshダム、King Fahdダムが、開発流量も大きく、また開発比率も高い。
- ◆ 一方、TabalahダムやHirjabダムは開発流量も小さく、また開発比率も低い。
- ◆ 貯水容量が年平均流量に比べて大きいほど開発比率(開発流量/年平均流量)が高い。

◆ 比較的、年流況がよいので東側流域より西側の紅海側流域のダムは開発比率が高い。

表 C. 2-2 3 州に関連する主要ダムの開発流量

ダム名	河口の位置	年平均流量(MCM/Y)	貯水容量(MCM)	開発安全度 97%*1			開発安全度 95%*2		
				計画開発流量(MCM/Y)	計画開発流量(1000m³/日)	開発比率*3(α)	計画開発流量(MCM/Y)	計画開発流量(1000m³/日)	開発比率*3(α)
Aradah	東(砂漠)	15.2	68.0	6.7	18	44%	7.5	21	49%
King Fahd	東(砂漠)	69.1	325.0	55.3	152	80%	57.3	157	83%
Tabalah	東(砂漠)	12.3	68.4	3.6	10	29%	3.8	11	31%
Ranyah	東(砂漠)	99.6	219.8	32.9	90	33%	37.9	104	38%
Hirjab	東(砂漠)	16.8	4.6	3.4	9	20%	4.4	12	26%
Jizan	西(紅海)	78.9	51.0	23.7	65	30%	25.2	69	32%
Baysh	西(紅海)	104.6	193.6	73.2	201	70%	90.0	247	86%
Damad	西(紅海)	61.5	55.5	24.0	66	39%	25.8	71	42%
Hali	西(紅海)	122.3	249.9	97.8	268	80%	104.0	285	85%
Qanunah	西(紅海)	21.3	79.2	6.4	18	30%	7.4	20	35%
Yiba	西(紅海)	81.3	80.9	24.4	67	30%	26.0	71	32%
合計		682.9	1,395.9	351.4	964	51%	389.3	1,068	57%
合計	東(砂漠)	213.0	685.8	101.9	279	48%	110.9	305	52%
合計	西(紅海)	469.9	710.1	249.5	685	53%	278.4	763	59%

[Note] *1:開発安全度 97%=10 年に一度、計画開発量の 30%が不足、*2:開発安全度 95%=10 年に一度、計画開発量の 50%が不足、*3:開発比率(α)=計画開発流量/年平均流量

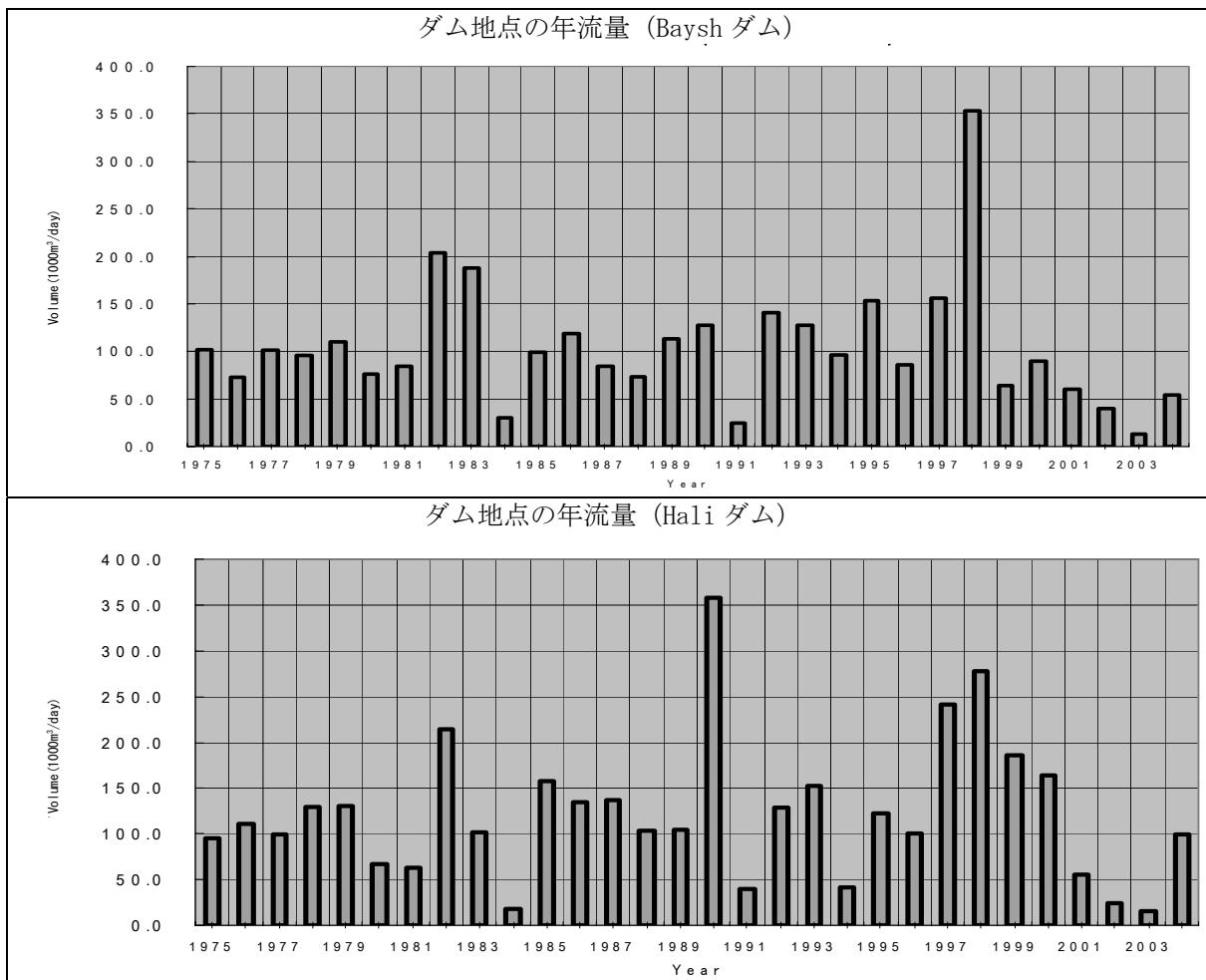


図 C. 2-4 ダム地点の年流量 (Baysh ダムと Hali ダム)

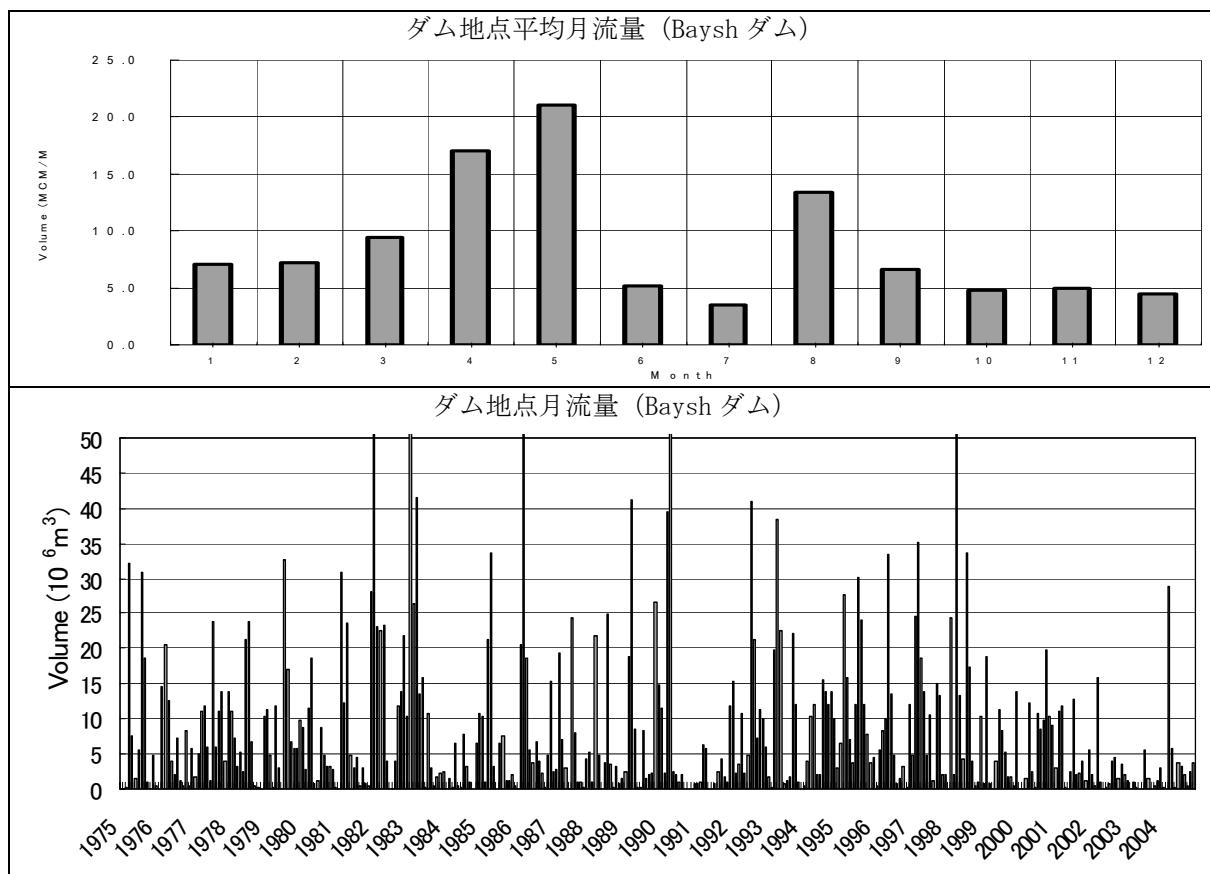


図 C.2-5 ダム地点の月流量 (Baysh ダム)

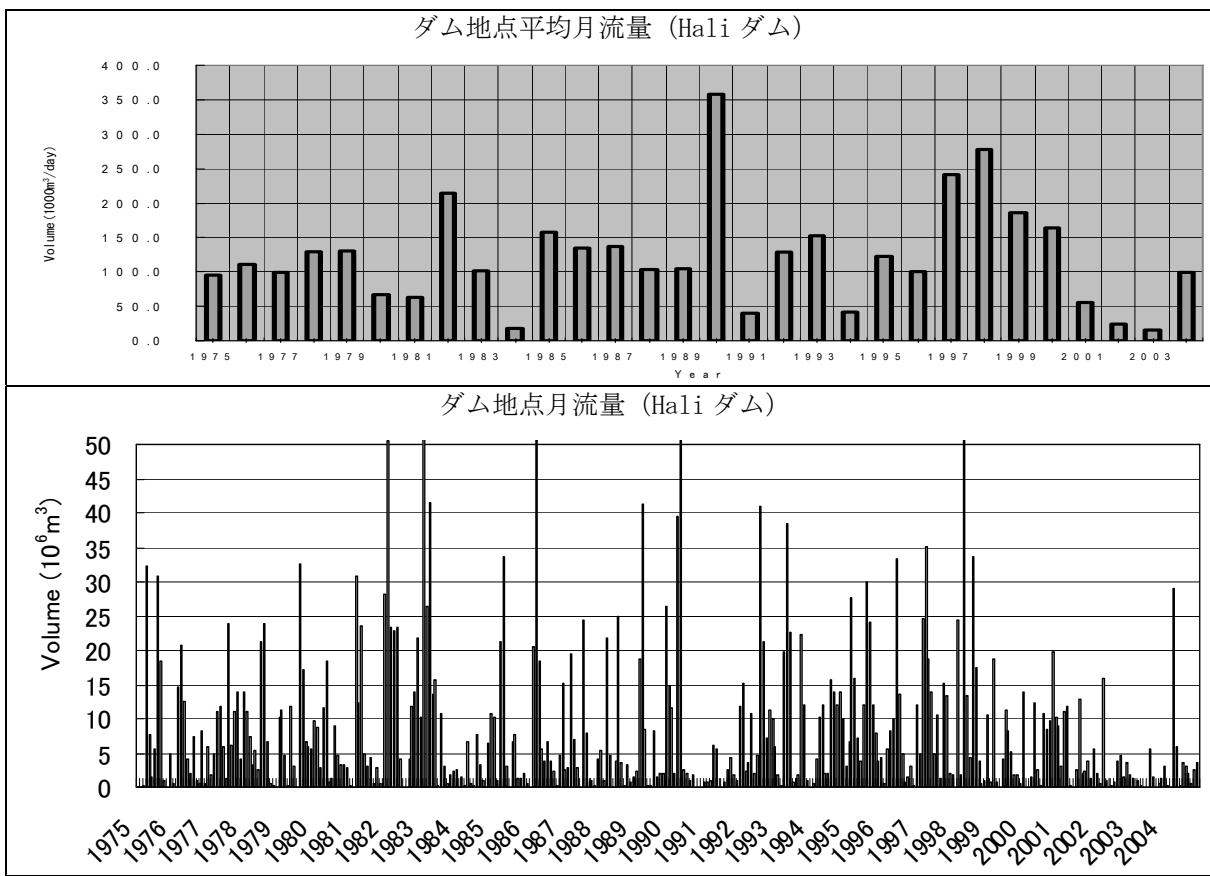


図 C.2-6 ダム地点の月流量 (Hali ダム)

<Baysh Dam>

	Annual Inflow	Design Development Volume	Actual Development Volume	Evaporation Volume	Water from Spill Way
Volume (MCM/Y)	105	73.5	71	13	21
Rate (%)	100%	70%	68%	12%	20%

Annual Water Use = 70% x Annual Flow (73.5) → 97% of Expected Volume

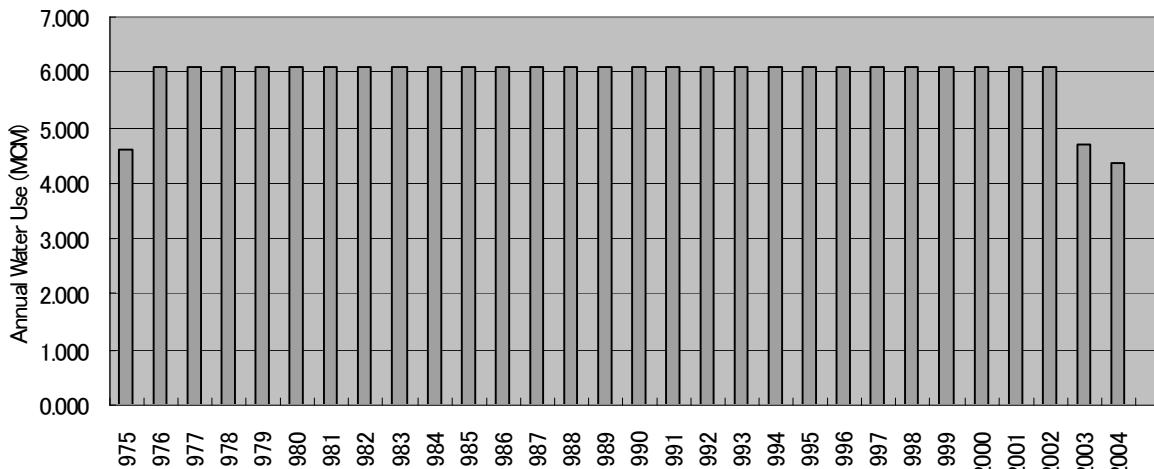


図 C. 2-7 Baysh ダムの水資源開発

<Hali Dam>

	Annual Inflow	Design Development Volume	Actual Development Volume	Evaporation Volume	Water from Spill Way
Volume (MCM/Y)	122	97.6	95	11	16
Rate (%)	100%	80%	78%	9%	13%

Annual Water Use = 80% x Annual Flow (97.6 MCM) → 97% of Expected Volume

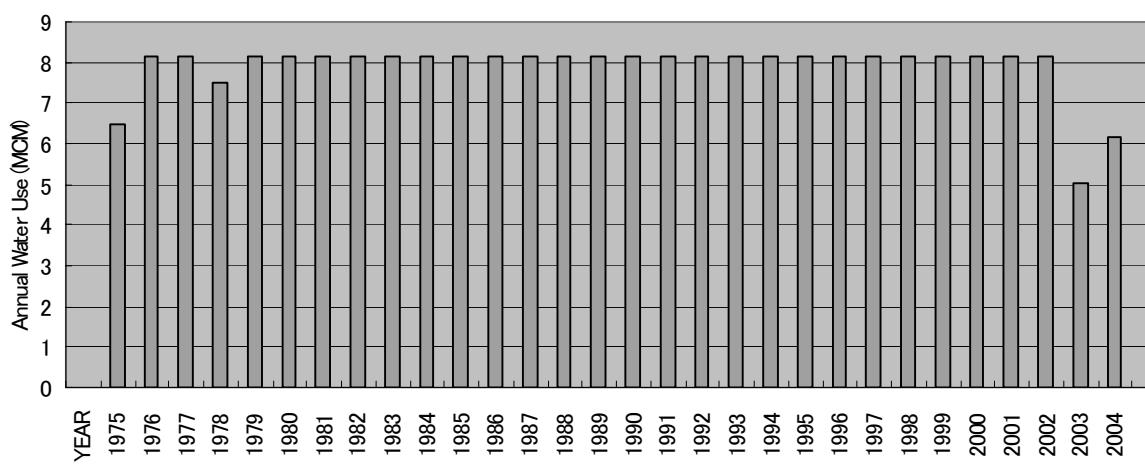


図 C. 2-8 Hali ダムの水資源開発

2.2 非在来型水資源

海水淡水化水および下水再生水に分類される非在来型水資源は、用途によって使い分ける。海水淡水化水は原則として、生活、事業、商業用に、下水再生水は、生活一般に含まれる緑化用や工場用に、また、まだ普及率は小さいが農業にも利用されている。

海水淡水化水は、水の安定供給という面で、都市部への水供給や海水時に安定して供給できる最も有効な水資源である。現在、M/P 対象 3 州で海水淡水化水がすでに供給されており、現在も拡張整備事業が MOWE によって進められている。

下水再生水は、現時点では 3 州のうち Asir 州のみで活用されている。下水再生水がトラック運搬により供給され、緑化や農業に利用されている。将来的には、下水処理場の整備事業に伴い下水再生水の利用を拡大する計画が進められている。

2.2.1 海水淡水化水

(1) 計画対象区域内の海水淡水化水の利用の現状

Al Baha 州、Asir 州、Jazan 州では、SWCC の 3箇所の海水淡水化プラント (Shuaibah、Shuqaiq、Farasan) から、3 州で 9 つのガバナレートに淡水化水が供給されている。3 プラントの所在地は、Shuaibah : Makkah 州、Shuqaiq : Jazan 州、Farasan : Jazan 州のファラサン島である。プラントごとに生産能力や管路施設の拡張工事が進められている。各州の海水淡水化利用の現況と将来計画は以下の通りである。

- ◆ Al Baha 州では、Shuaibah からの海水淡水化水 (10,000m³/日) が Makkah 州のタイフを経由して Al Baha はじめ 4 都市に配水されている。Al Baha 州からは、同ルートからの増強 (70,000m³/日) について MOWE を通して SWCC に要請しているが、計画決定には至っていない。
- ◆ Asir 州では、Shuqaiq からの海水淡水化水 (83,900m³/日) が Jazan 州の Ad Darb を経由して Abha はじめ 3 都市に配水されている。2010 年には、Shuqaiq からの増強工事 (196,000m³/日) が完成する予定である。
- ◆ Jazan 州では、Shuqaiq からの海水淡水化水 (3,000m³/日) が Ad Darb に配水されている。また、Farasan 島では、生産能力 (1,000m³/日) のプラントが稼動している。2015 年までには、Shuqaiq からの海水淡水化水 (72,000m³/日) が Jizan まで配水される。Farasan プラントも同様に、2015 年までには生産能力が 9,000m³/日まで増強される予定である。

(2) 都市用水や工業用水の水源としての海水淡水化水

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、次のような次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。ただし、ダム建設の投資資金の金利を年 8% と想定している。
- ◆ 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、同上レポートによれば、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、輸送コストを低減させるためには、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。

2.2.2 下水再生水

計画対象州において、現在下水再生水が利用されている地域は Asir 州のみである。将来的に、下水再生水は緑化、工場、農業への活用が期待されている。2009 年に策定された「Investigation and Engineering Design for Treated Wastewater Reuse in the Kingdom of Saudi Arabia」では、表 C.2-3 に示すように、計画対象区域の下水処理量（下水再生水量）が計画されている。各州の下水処理・再生水利用の現況と将来計画は以下の通りである。

- ◆ Al Baha 州では、2010 年時点では下水処理場はないが、2020 年までには主要 6 都市に下水処理場を整備し、2035 年の処理能力と集水網のほとんどを完成させる計画となっている。
- ◆ Asir 州では、Abha、Khamis Mushayt および Bisha に下水処理施設を持ち、処理水が市内の緑化事業等に利用されている。Abha の現状処理能力は 35,000m³/日で、ほぼ同量の処理水が使われている。Khamis Mushayt の現状処理能力は 35,900m³/日で、ほぼ処理量の 40% に相当する 14,500m³/日の処理水が使われている。Bisha の現状処理能力は 10,000m³/日だが、現状の処理量は集水網の未整備のため 1,000m³/日で処理水は利用されていない。
- ◆ Jazan 州では、Jizan に処理能力 20,000m³/日の下水処理場があるが、現状の処理量は 10,000m³/日で全く利用されず紅海に排出されている。

表 C.2-3 下水発生量と 2020 年時点処理量

州	都市	下水発生量(m ³ /日)				2020 年 処理可能量 (m ³ /日)
		現況	予測			
			2007 年	2010 年	2020 年	2035 年
Al Baha	Al Baha	0	18,766	18,418	18,766	20,000
	Biljurashi	0	7,277	7,142	7,277	8,000
	Al Mukhwah	0	3,485	3,421	3,485	4,000
	Al Aqiq	0	2,326	2,283	2,326	3,000
	Qilwah	0	2,113	2,074	2,113	3,000
	Al Mandaq	0	1,678	1,647	1,678	3,000
	Total	0	35,645	34,985	35,645	41,000
Asir	Khamis Mushayt	58,189	60,394	92,923	101,847	106,000
	Abha	41,991	43,582	50,342	55,177	56,000
	Bisha	10,188	10,574	19,523	21,398	22,000
	Rifaydah			10,405	11,405	12,000
	Muhayil			10,131	11,104	12,000
	Al Namas			4,941	5,415	6,000
	Zahran al Janub			4,340	4,757	6,000
	Al Alayah			3,601	3,946	
	Al Majardah			3,034	3,325	3,000
	Tanumah			2,781	3,048	
	Sarat Abidah			2,511	2,752	3,000
	Far'at Turayeb			1,849	2,026	
	Al Ithnayn			1,476	1,617	3,000
	Tathlith			1,367	1,498	
	Bahr Abu Sakynah			1,069	1,172	3,000
	Tibalah			1,054	1,155	
	Total	110,368	114,550	211,347	231,642	232,000
Jazan	Jizan	20,000	23,141	34,790	43,909	48,000
	Sabya	0	0	12,434	18,832	
	Abu Arish	0	0	11,379	14,362	
	Samtah	0	0	6,251	7,889	
	Baysh	0	0	5,730	7,232	12,000
	Damad	0	0	4,281	5,403	
	Ahad al Musariyah	0	0	4,252	5,366	6,000
	Az Zabyah	0	0	2,490	3,142	36,000
	Ad Da'ir	0	0	2,490	3,142	3,000

州	都市	下水発生量(m ³ /日)			2020年 処理可能量 (m ³ /日)	
		現況	予測			
		2007年	2010年	2020年		
	Farasan	0	0	2,965	3,743	6,000
	Al Badi' Wa al Qarfi	0	0	1,950	2,461	
	Al Aliyah	0	0	1,805	2,278	3,000
	Al juradiyah	0	0	1,716	2,165	12,000
	Hakimah	0	0	1,702	2,147	
	Al Madaya	0	0	1,669	2,107	
	Al Shuqayri	0	0	1,669	2,107	
	Al Mat'an	0	0	1,648	2,080	
	Al Tuwal	0	0	1,489	1,879	
	Misliyah	0	0	1,419	1,791	
	Mizhirah	0	0	1,283	1,619	
	Abu as Sala'	0	0	1,274	1,607	3,000
	Ad Darb	0	0	1,248	1,575	3,000
	Al Husayni	0	0	1,240	1,565	
	Total	20,000	23,141	107,174	138,401	132,000

出典) 「Investigation and Engineering Design for Treated Wastewater Reuse in the Kingdom of Saudi Arabia」(2009)

都市用水や工業用水として給水された水は下水として排出される。給水利用者や給水提供者は、環境保全や衛生・保健の観点から、下水を適切に処理して自然に帰すことを実行しなければならない。上述したように、計画対象区域において 2020 年時点までに主要な都市で下水処理施設が整備され、処理水が利用された場合の水バランスを表 C. 2-4 に示す。

表 C. 2-4 2020 年時点処理量利用状況

項目	Al Baha 州	Asir 州	Jazan 州
(1) 下水量(1000m ³ /日)	35	211	107
(2) 下水処理可能量(1000m ³ /日)	41	232	132
(3) 都市用水需要(1000m ³ /日)	80	436	325
(4) 工業用水需要(1000m ³ /日)	1	13	3
(5) 都市用水・工業用水のうち下水処理水からの補給(1000m ³ /日) : 都市用水の 5%、工業用水需要の 30%と想定	4	26	7
(6) 下水処理水のうち農業用水としての利用可能量(1000m ³ /日) : (1)-(5)	31	185	100
(7) 同上の年換算(MCM/Y)	11.3	67.5	36.5
(8) 農業用水需要(MCM/Y) 現状レベル	53.9	268.4	1,501.9
(9) 可能農業用水利用率(7)/(8)	21 %	25 %	2 %

上表から分かるように、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。

<下水処理水の再利用 → 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。

例えば、Al Baha 州と Asir 州の 2020 年の都市用水需要 516,000m³/日の 5% (25,800m³/日) が減少し、政府補助金が 90% (8.0SR/m³ × 90% = 7.2SR/m³) と仮定すれば、1 年間の政府補助金の減少は、67.8 百万 SR に達する。

<下水処理水の再利用 → 農業用水としての利用への提案>

表 C. 2-4 で示したように、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。

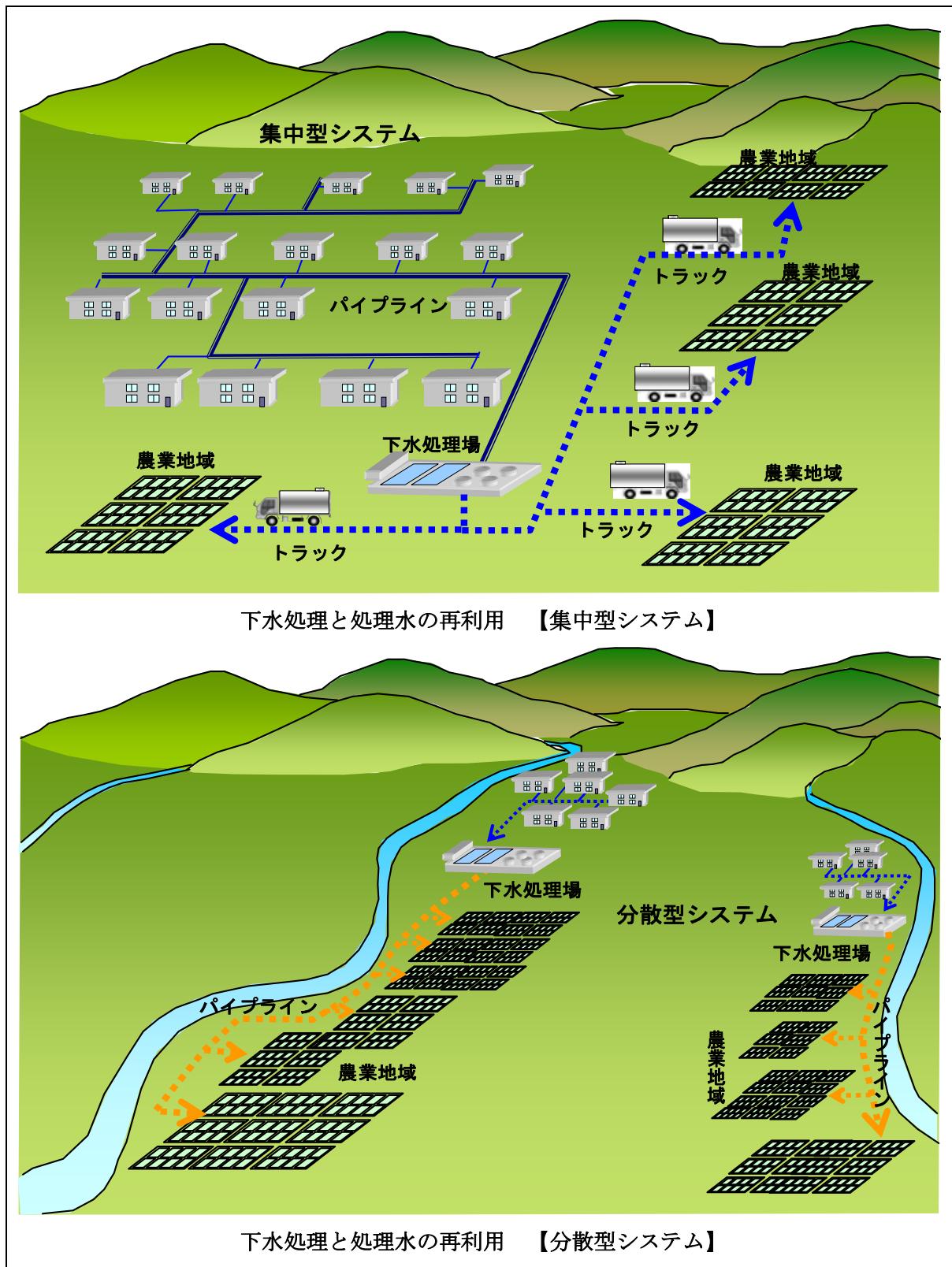


図 C. 2-9 下水処理と処理水の再利用システム

<下水処理水の再利用 → 海水侵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>

紅海沿いには砂質土を主体とした第四紀層平野が分布し、優れた帶水層を形成している。一方、帶水層から大規模な揚水が行われ、農業・生活用水として使用されている。その結果、海岸部平野の地下水位が低下し紅海の海水が帶水層に侵入している。

海水侵入の対策として、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。(図 C.2-10 参照。)

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と判断される。次フェーズにおいて、詳細な確認をおこなう。

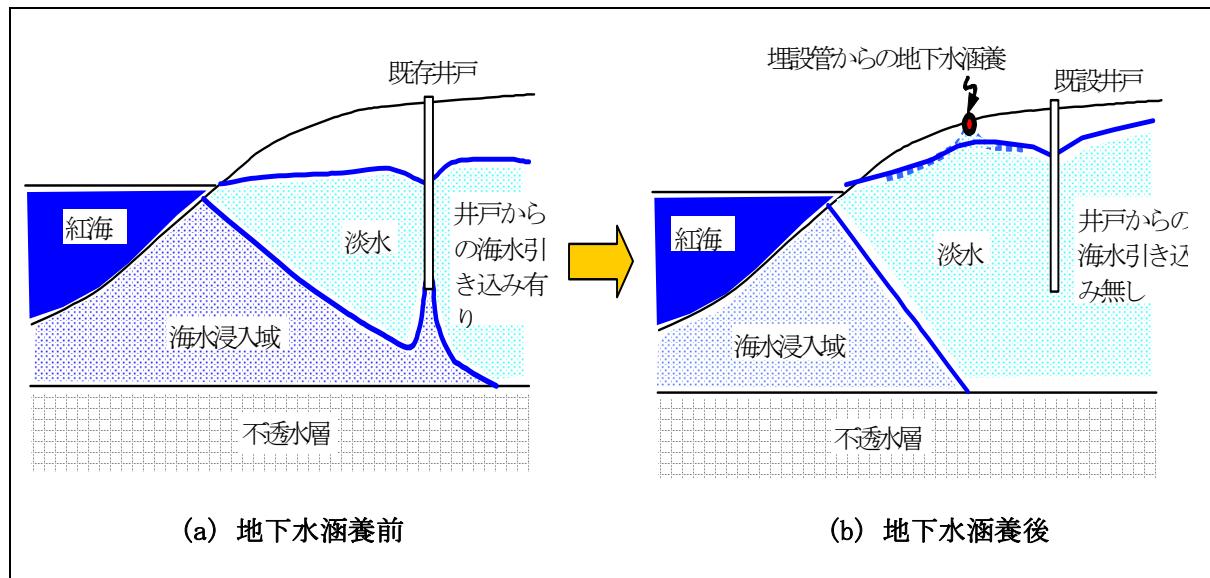


図 C.2-10 下水処理水による塩水化対策

人工涵養の方法として、2つの方法がある。すなわち、1)地表涵養法（溜池や溝渠から涵養する）と2)井戸涵養法（井戸から涵養する）である。

人工涵養の計画に当っては、以下の点に留意する。

- ◆ 海水侵入対策は海岸に沿って広範囲に実施する必要がある。井戸涵養法の場合は大量の井戸を掘削する必要ありコスト面で現実的でない。また、人工涵養の対象は不圧帶水層であるため、井戸から涵養する必要はない。
- ◆ 海岸に沿って地表浅部(GL-0.5m程度)に有孔管を敷設し、下水処理水を有孔管によって地中に浸透させ人工涵養するのが効果的であり、またコスト面でも有利である。有孔管は下水処理場から海岸に沿って敷設可能である。
- ◆ 人工涵養に適用可能な下水処理水の量は限られているため、海水侵入の被害が大きな都市部周辺に限定して対策を実施すべきである。すなわち、地下水位の低下が著しい Jazan 州南部地域の海岸沿い地方都市を対象とする。
- ◆ 帯水層に注入された下水処理水は、帶水層を流動中に砂層の濾過機能により自然浄化される。しかし、埋設管は既存井戸の直近を避けて(100m以上)配置する。
- ◆ 景観、緑化の観点から、埋設管の上に植生を配置し、埋設管からの浸透水を植生の育成にも利用する配慮とする。

第3章 給水計画

3.1 計画の基本条件

3.1.1 計画の前提条件

本 M/P における給水計画の前提条件は、以下の通りとする。

水資源の種類

水 M/P3 州における給水計画は、都市用水（生活用水、業務、商業用水）と工業用水を給水対象とする。水資源としては、1) 表流水（再生可能水）2) 地下水（再生可能水）3) 地下水（化石水、非再生可能水）4) 海水淡水化水を想定する。

下水再生水については、その分が水需要から引かれており、水資源として加味されている。

総合水供給システム

「サ」国における水資源開発機関としては、再生可能水資源を開発する MOWE と海水淡化水の供給を担当する SWCC とに分けられるが、現状においては、各機関が個別に開発計画を立案しているため、効率的な供給計画が実践されているとは言いがたい現状にある。また、水電力省では近年、大型ダムの建設を「サ」国南西地域で実施しており、また、SWCC も海水淡化施設の増強計画を検討している。化石水については、Najran 州 Wajid 帯水層から Asir 州当部への給水計画が策定されている。本水 M/P においては、B 編 5 章で提案した「紅海水ライフルライン」基本にして、3 州の総合水供給計画を提案する。

水需要量

水需要量については、MOWE の基準に沿って計画需要量を算定しているが、現行の原単位、水道普及率に比べて大きくなっている、実際の施設整備に当たっては、需要の伸びを適切に把握して行うものとする。

再生可能水の優先・最大利用

開発単価は、再生可能水、化石水、海水淡化の順で安いことから、開発単価の安い水資源を優先的に利用する計画とする。ただし、化石水については、再生不可能であるため、開発は再開可能水の開発ポテンシャルが小さい地域及び海から遠い内陸部の使用に限定する。

再生可能水は水開発施設の位置する州および流域を有する州への割当を優先

一般的に、再生可能水は、流れるワジ流域が大きいため、2 州にまたがる場合や施設そのものも 2 州にまたがる場合が多いが、州内で開発された水を適切に配分する必要がある。「サ」国では、水は固有の財産としての認識があることから、本調査では、再生可能水は、開発地点の位置する州および流域に優先的な水資源開発、利用の権利があるものとする。

水供給施設の広域ネットワークの形成

地域的な旱魃による水不足や夏季における観光客の集中による季節的な水需要が増大に対応するために、広域的な水供給施設のネットワークを形成して、供給体制を整えておくものとする。

水需要地に近い水資源開発施設の開発利用

水コストは、水送水距離に比例して高くなる傾向にある。したがって、できるだけ近傍の水資源開発、生産施設より需要地に送水することとする。

セクター間の水資源配分

建設中や計画中の各ダムからの給水量は、原則として、MOWE が計画している給水量の値を用いる。ただし、C 編 2 章で検討したダムの計画開発流量を考慮している。

3.1.2 現況の給水源と給水量

対象州における現況施設（ダム、井戸群）による給水源と給水量を整理すると以下の通りとなる。

表 C.3-1 既存施設の水源別の計画給水量

Region	Resources	Name of Facility	Volume (m ³ /日)	Remarks
Al Baha	1. Renewable Water	<Dams> Aradah Dam Al Aqiq Dam Tharad <Wells> Qilwah Mukhwah Al Aqiq Others	19,000 14,000 (5,000) (4,000) (5,000) 5,000 (2,000) (1,000) (1,000) (1,000)	2 resources
	2. Desalinated Seawater	Shuaiba	10,000 10,000	
	3. Total		29,000	
Asir	1. Renewable Water	<Wells> Bisha Balqarn Al Majardah An Namas Tathlith Ahad Rifayda Sarat Abidah Zahran Al Janub Khamis Mushayt Abha Muhayl Rijar Almah Al Birk	40,000 40,000 (15,000) (1,000) (4,000) (2,000) (3,000) (2,000) (2,000) (1,000) (1,000) (2,000) (6,000) (1,000) (1,000)	2 resources 2 resources 2 resources 2 resources
	2. Desalinated Seawater	Shuqaiq	82,000 (82,000)	
	3. Total		122,000	
Jazan	1. Renewable Water	<Wells> Ad Darb Al Rayth Baysh Al Idabi Ad Dair Sabya Damad Al Aridah Jazan Abu Arish Al Harth Ahad Al Musariyah Al Juradiyah Al Tuwal	136,000 136,000 (2,000) (2,000) (16,000) (3,000) (3,000) (22,000) (4,000) (2,000) (22,000) (17,000) (7,000) (21,000) (11,000) (4,000)	4 resources 4 resources 2 resources 3 resources 3 resources 2 resources
	2. Desalinated Seawater	Shuqaiq Farasan	4,000 (3,000) (1,000)	
	3. Total		140,000	

各州について、水源、給水量、給水先等を示した現況給水ネットワークを以下の図に示す。

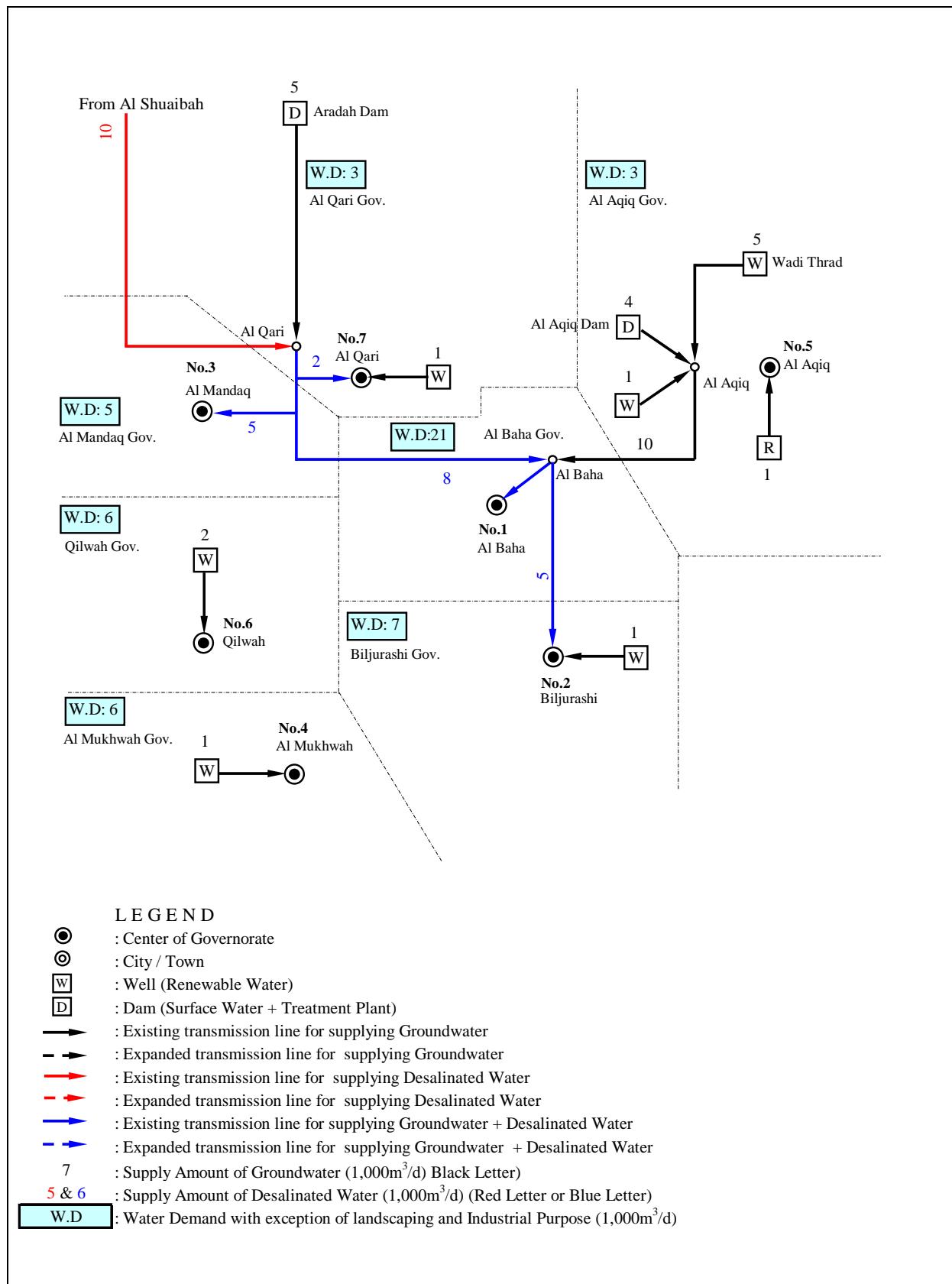


図 C.3-1 Al Baha 州の給水ネットワーク（現状）

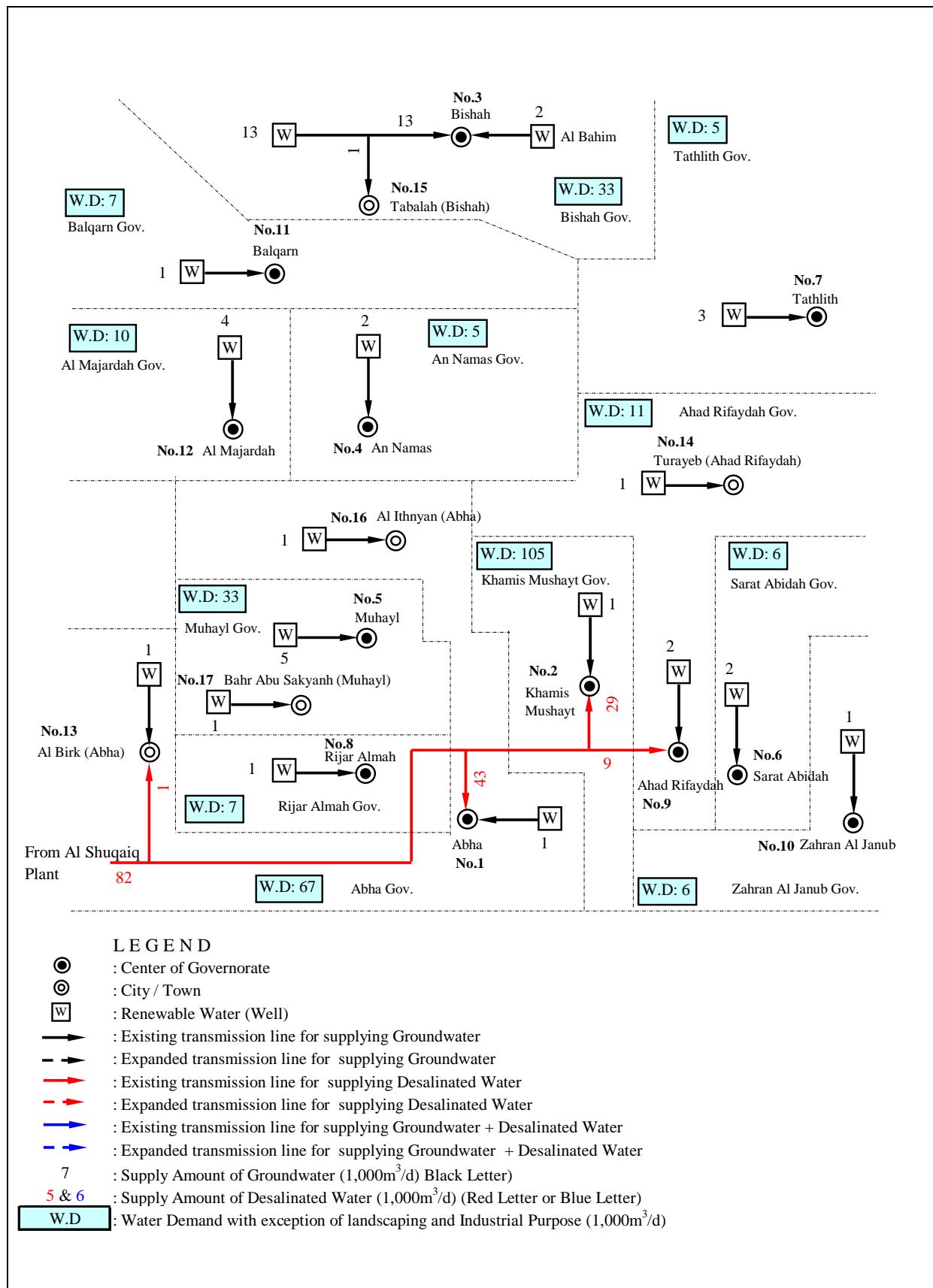


図 C.3-2 Asir 府の給水ネットワーク（現状）

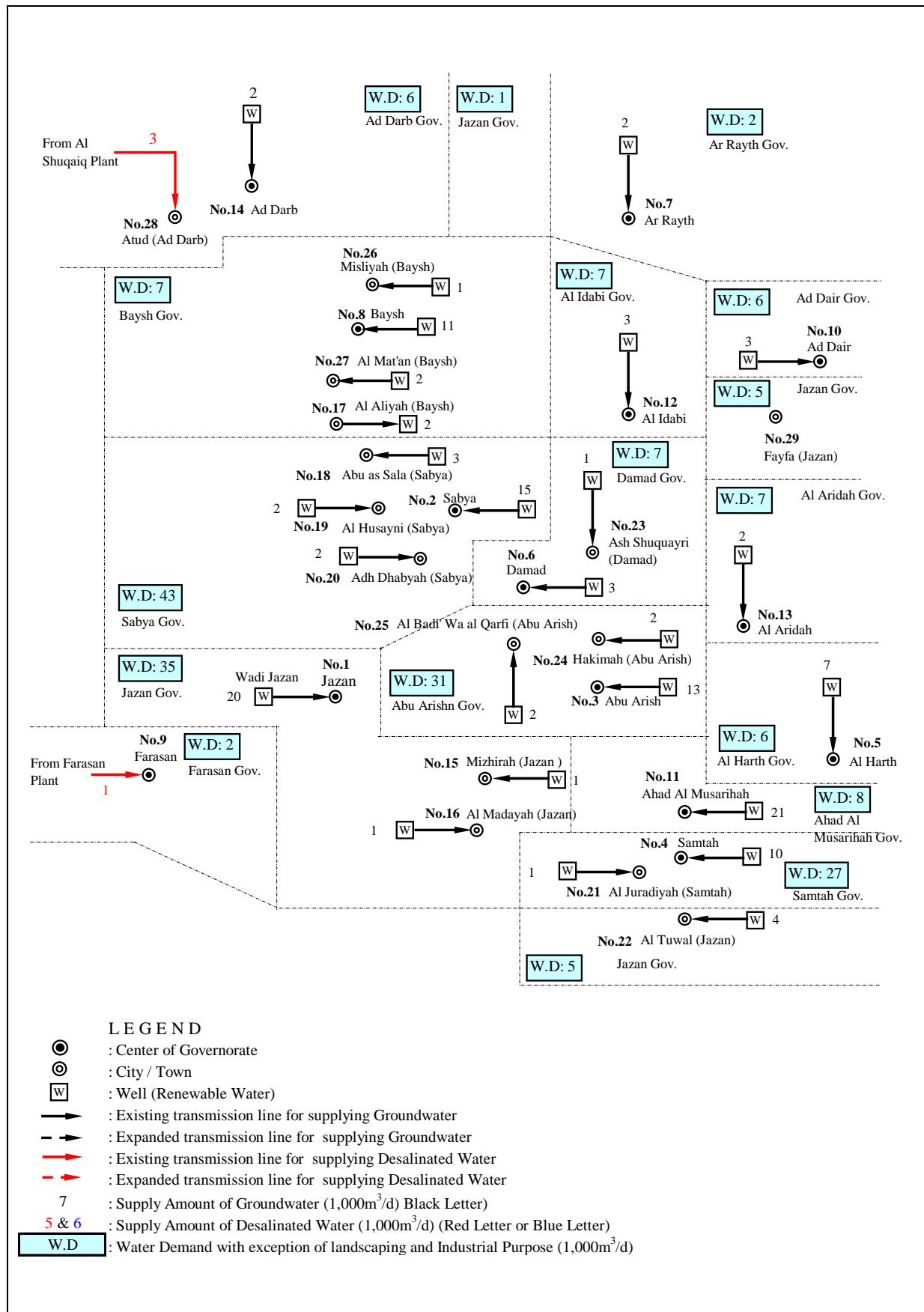


図 C. 3-3 Jazan 府の給水ネットワーク（現状）

3.1.3 給水計画のための開発施設

(1) 建設中ダムおよび計画ダムの開発流量と計画給水流量

前章（C編第2章）で開発流量を検討したダムのうち、今後の給水計画に用いる各ダムの計画給水量を表C.3-2に示す。各ダムの計画給水量はMOWEによって計画されたものであるが、TabalahとQanunahについては、計算された計画開発量より大きいのでこの値まで計画給水量を下げる。

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

ダム名	年平均流量(MCM/Y)	貯水容量(MCM)	計画開発量*1(MCM/Y)	計画開発量*1(1000m³/日)	開発比率*2	計画給水量*3(1000m³/日)	Remarks
Tabalah	12.3	68.4	3.6	10	29%	16	→ 10
Ranyah	99.6	219.8	32.9	90	33%	68	
Hirjab	16.8	4.6	3.4	9	20%	9	
Baysh	104.6	193.6	73.2	201	70%	58 = 25+33	
Damad	61.5	55.5	24.0	66	39%	36	
Hali	122.3	249.9	97.8	268	80%	70 = 35+35	
Qanunah	21.3	79.2	6.4	18	30%	30	→ 18

[Note] *1: 開発安全度 97% = 10年に一度、計画開発量の30%が不足、*2: 開発比率=計画開発流量/年平均流量、*3: 計画給水量=ダムから給水に使う流量 (MOWEの計画値)

(2) 給水計画のための開発施設と給水量

水資源開発の開発施設とその計画給水量を表C.3-3および図C.3-4から図C.3-6示す。

表C.3-3 給水計画のための開発施設と給水量

州	年代	水源	施設名	計画給水量(m³/日)	Remarks
Al Baha	2010-2015	Surface Water	Hali Dam	35,000	Makkah Region
			Nilah Dam	6,000	
			Qilwah Dam	5,000	
			Al Janabin Dam	5,000	
			Total	51,000	
	2015-2020	Desalination Plants	Shuaiba Plant	40,000	After Extension
			Dawqah Plant	75,000	New Plant (Planned by Study Team)
					No development
			Dawqah Plant	25,000	Extension
Asir	2010-2015	Surface Water	Baysh Dam	25,000	
			Hali Dam	35,000	Makkah Region
			Tabalah Dam	10,000	
			Total	70,000	
			Desalination Plants	156,000	Extension
	2015-2020	Fossil Water	Shuqaiq	29,000	
			Wajid	9,000	
			Ranyah Dam	68,000	
			Qanunah Dam	18,000	
			Total	95,000	
Jazan	2010-2015	Surface Water	Qissi Dam	75,000	Extension
			Farasan	32,000	Extension 2 nd
			Total	33,000	
			Desalination Plants	72,000	
			Shuqaiq	8,000	
	2015-2020	Desalination Plants	Farasan	8,000	
			Total	80,000	
			Surface Water	35,000	New Plant (Planned by Study Team)
			Sabya Plant	160,000	Extension 2 nd
			Desalination Plants	55,000	Extension 3 rd

注) 新規淡水化プラントは、調査団が計画したものである。

3.2 提案する給水計画

3.2.1 Al Bahia 州

(1) 需要供給計画

Al Bahia 州の給水計画を表 C. 3-4 と表 C. 3-5 および図 C. 3-4 と図 C. 3-5 に示す。

表 C. 3-4 Al Bahia 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)	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		14,000	14,000	14,000	14,000
Wadi Thrad Dam (B)	5,000					
Qilwah Well (B)	2,000					
Mukwah Well (B)	1,000		5,000	5,000	5,000	5,000
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)	51,000	64,000	79,000	93,000	111,000	131,000

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

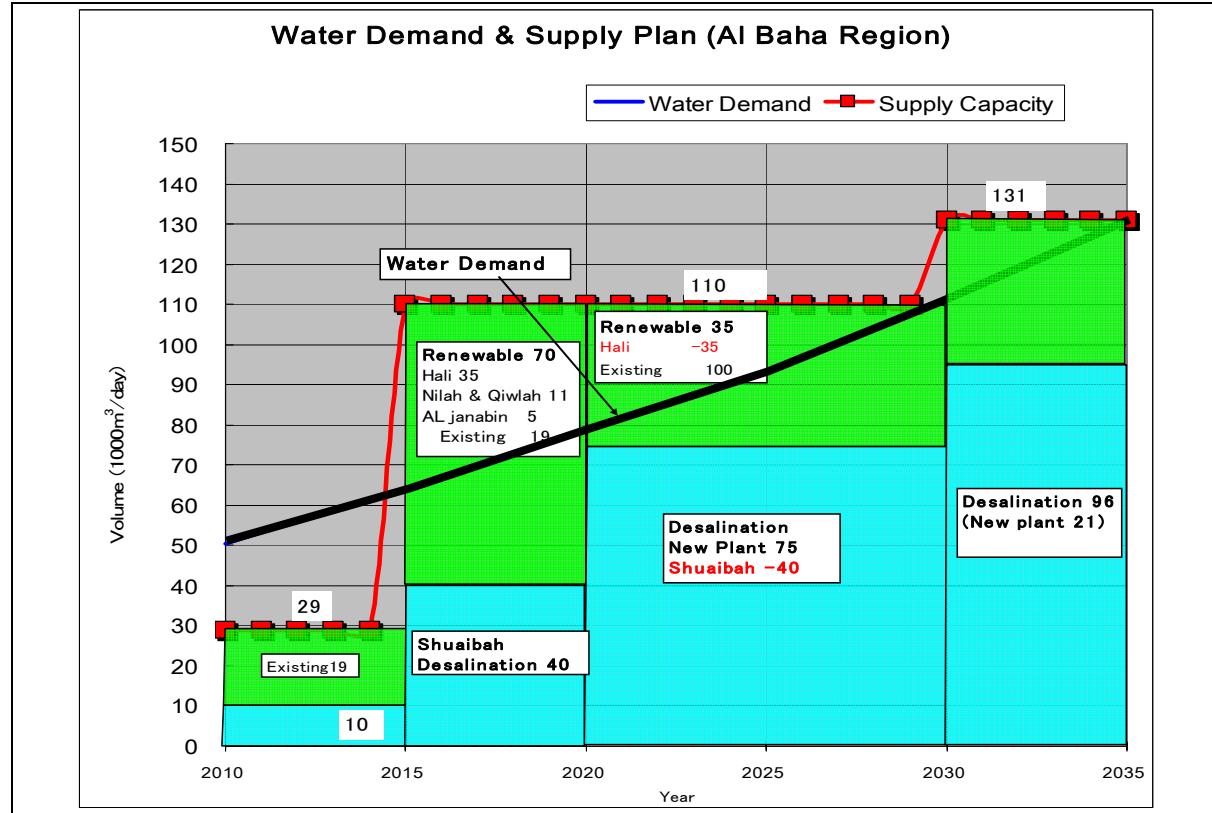


図 C. 3-4 Al Bahia 州の水需要供給計画(2011-2035)

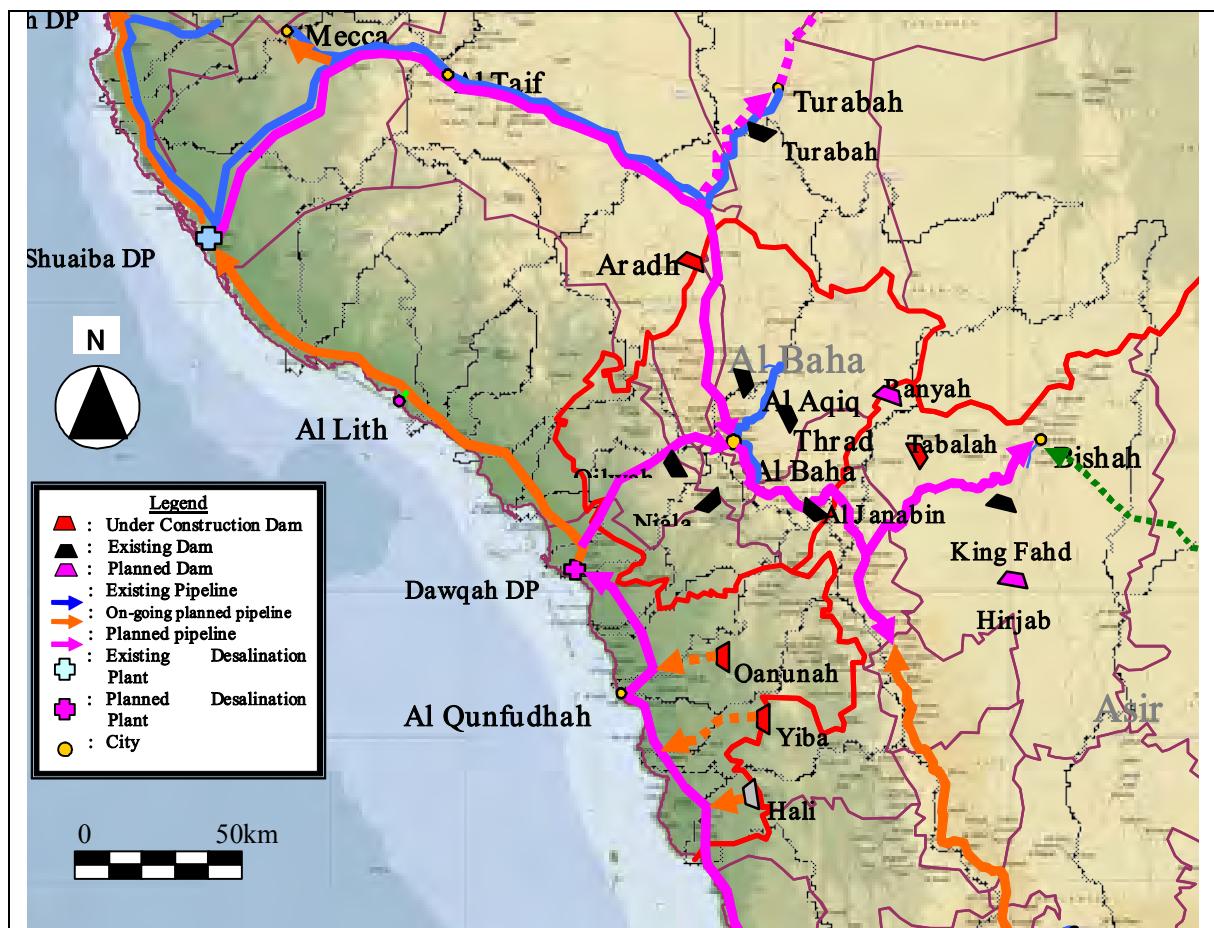


図 C. 3-5 Al Baha 州の計画ダムと淡水化プラント（既存施設を含む）

(2) 5年ごとの施設整備計画

<2011 年－2015 年の整備計画>

Al Baha 州の 2015 年の水需要量は、68,000m³/日である。給水計画としては、現在 Al Baha 州に隣接する Makkah 州において、Hali ダム及び Qanunah ダムが建設中であり、2015 年までには完成する予定である。本来はこのうち Hali ダムで開発される水量は、原則として Makkah 州と Asir 州で利用されるものであるが、集水・送水設備が未整備であること、Al Baha 州の水不足が最も深刻であることから、パイプライン建設予定ルートに最も近い Al Baha 州で一時的に 2020 年まで利用する。

表 C. 3-5 Al Baha 州給水計画(2011-2015)

給水内訳	区分	給水能力 (m ³ /日)	給水比率 (%)
◆ 再生可能水		70,000	64
● 既存施設	既設	19,000	
● Hali Dam	新設	35,000	
● Nilah&Qilwah	新設	11,000	
● AL Janabin Dam	新設	5,000	
◆ 海水淡水化水		40,000	36
● Shuaibah Plant	増設後	40,000	
合計給水能力		110,000	100

Al Baha 州では、この 2 ダムのうち、Hali ダムからの 35,000m³/日を利用するものとする。また、この期間には、州内の Nilah ダムと Qilwah ダム（合計で 11,000m³/日）及び AL Janabin ダム（5,000m³/日）も完成する予定であり、再生可能水の全供給可能量は、既存のダム、地下水取水

施設と合わせて、合計で 70,000m³/日となる。

また、増設後の Makkah 州 Shuaibah 海水淡水化施設からの供給 40,000m³/日と合わせて、合計 110,000m³/日の水が Al Bahia 州へ供給可能となる。

再生可能水と海水淡水化水の供給割合は、70,000m³/日 対 40,000m³/日であり、再生可能水が 64% を占める。

新たな施設計画の概要は、以下の通りである。

表 C. 3-6 Al Bahia 州給水施設計画(2011-2015)

施設名	諸元
Pipeline A	Section:Dowqa-Al Bahia, Length=115Km
Pipeline B	Section:Dowqa-Hali, Length=108Km

注)位置図については、図 C. 6-1 参照

<2016 年-2020 年の整備計画>

将来における水需要増加への対応のため、海水淡水化施設の送水コストの縮減を目的として、Shuaiba プラントからの送水を中止し、Al Bahia 州の水供給施設として、Al Bahia 州が専用的に利用できる海水淡水化施設の建設(Dawqah プラント)を提案する。この施設完成後には、Hali ダムの 35,000m³/日は、同時期に新たに建設する AL Bahia-AL Alayah (Asir 州) パイプラインにより Asir 州へ送水する計画としている。

2016 年までの給水計画量が、水需要量を上回っていることから、この Dawqah プラント規模は、この返還水量を補完する規模とし、75,000m³/日として計画する。一方、再生可能水の供給能力は、35,000m³/日に減少する。従って、再生可能水と海水淡水化水の供給比率は、35,000m³/日 対 75,000m³/日となり、供給比率で海水淡水化水が 68%となる。

表 C. 3-7 Al Bahia 州給水計画(2016-2020)

給水内訳	区分	給水能力 (m ³ /日)	給水比率 (%)
◆ 再生可能水		35,000	32
● 既存施設	既設	70,000	
● Hali Dam	新設	(-35,000)	
◆ 海水淡水化水		75,000	68
● Shuaibah Plant	既設	0	
● Dawqah Plant	新設	75,000	
合計給水能力		110,000	100

新たな施設計画の概要は、以下の通りである。

表 C. 3-8 Al Bahia 州給水施設計画(2016-2020)

施設名	諸元
Dawqah Desalination Plant	Production Volume: 75,000 m ³

注)位置図については、図 C. 3-5 参照

<2021 年-2025 年の整備計画>

2021 年までの開発により、2025 年の需要量 97,000m³/日を上回っていることから、この期間の新設の給水施設はない。

<2026 年-2035 年の整備計画>

Al Bahia 州の 2030 年の水需要量は、115,000m³/日である。再生可能水の開発は、ほとんど最大限の開発となっているため、2030 年以降の水供給は海水淡水化水の増強で対応する。2030 年における海水淡水化水の Dawqah プラント増強は、約 25,000m³/日であり、合計約 100,000m³/日の供給能力となる。この時点 (2030 年) の給水能力は、2035 年の需要 (135,000m³/日) にも対応できる。

表 C. 3-9 Al Bahah 州給水計画(2026–2030, 2031–2035)

給水内訳	区分	給水能力 (m ³ /日)	給水比率 (%)
◆ 再生可能水		35,000	26
● 既存施設	既設	35,000	
◆ 海水淡水化水		100,000	74
● Dawqah Plant	既設	75,000	
● Dawqah Plant	増設	25,000	
合計給水能力		135,000	100

上表で、2035 年時点での再生可能水の給水内訳は、Aradah ダム、Aqiq ダム、Thrad ダム等とワジでの開発水の 19,000m³/日(Existing) と Nilah ダムと Qilwah ダムでの開発水 11,000m³/日、Al Janabin ダムでの開発水 5,000m³/日の合計 35,000m³/日である。淡水化水は、Dawqah プラントから 100,000m³/日が供給され、給水能力の合計は、135,000m³/日となる。

新たな施設計画の概要は、以下の通りである。

表 C. 3-10 Al Bahah 州給水施設計画(2026–2035)

施設名	諸元
Dawqah Desalination Plant	Extension Production Volume: 25,000 m ³

注)位置図については、図 C. 3-5 参照

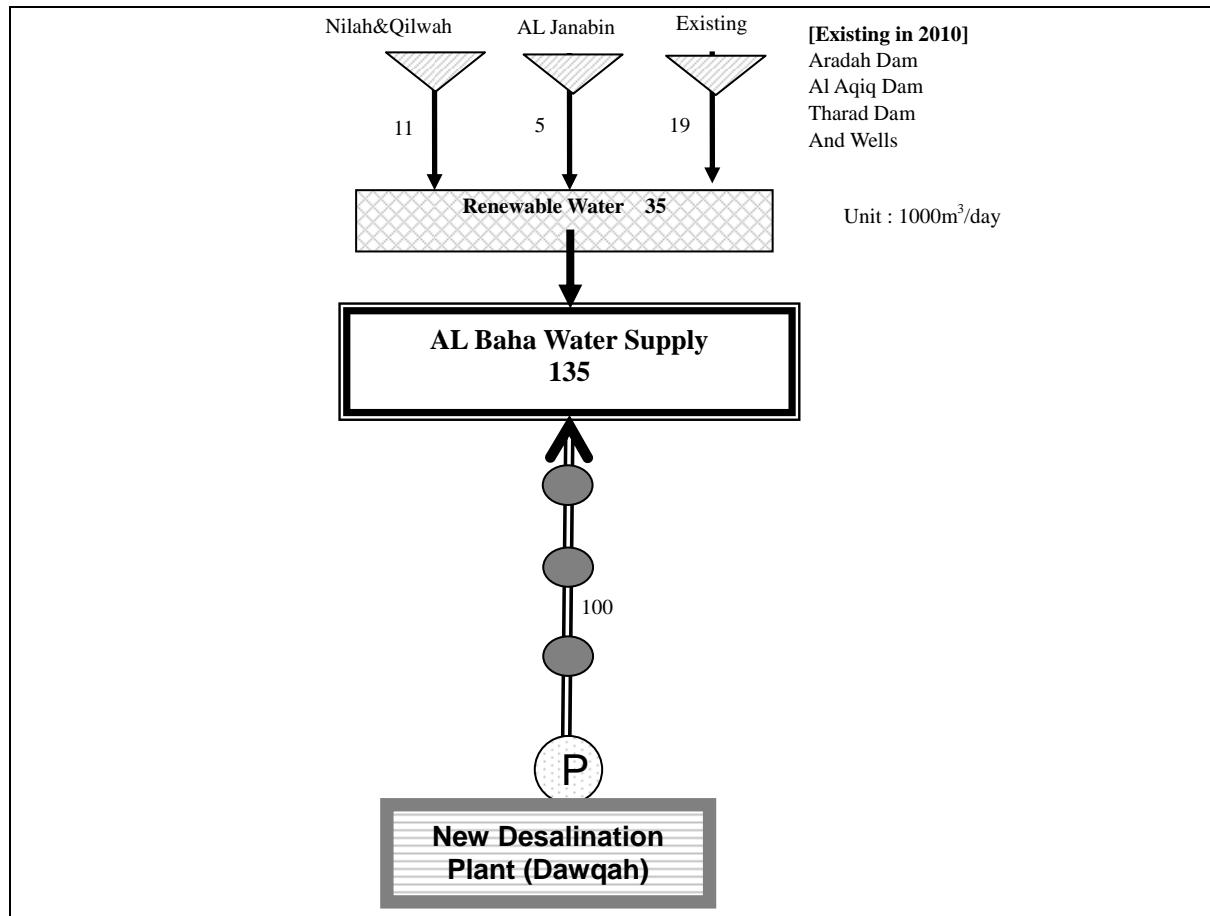


図 C. 3-6 Al Bahah 州の水供給計画とその水源 (2035 年時点)

3.2.2 Asir 州

(1) 需要供給計画

Asir 州の給水計画を表 C. 3-11 と表 C. 3-12 および図 C. 3-7 と図 C. 3-8 に示す。

表 C. 3-11 Asir 州給水計画

水資源	0000-2010	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
Baysh 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
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

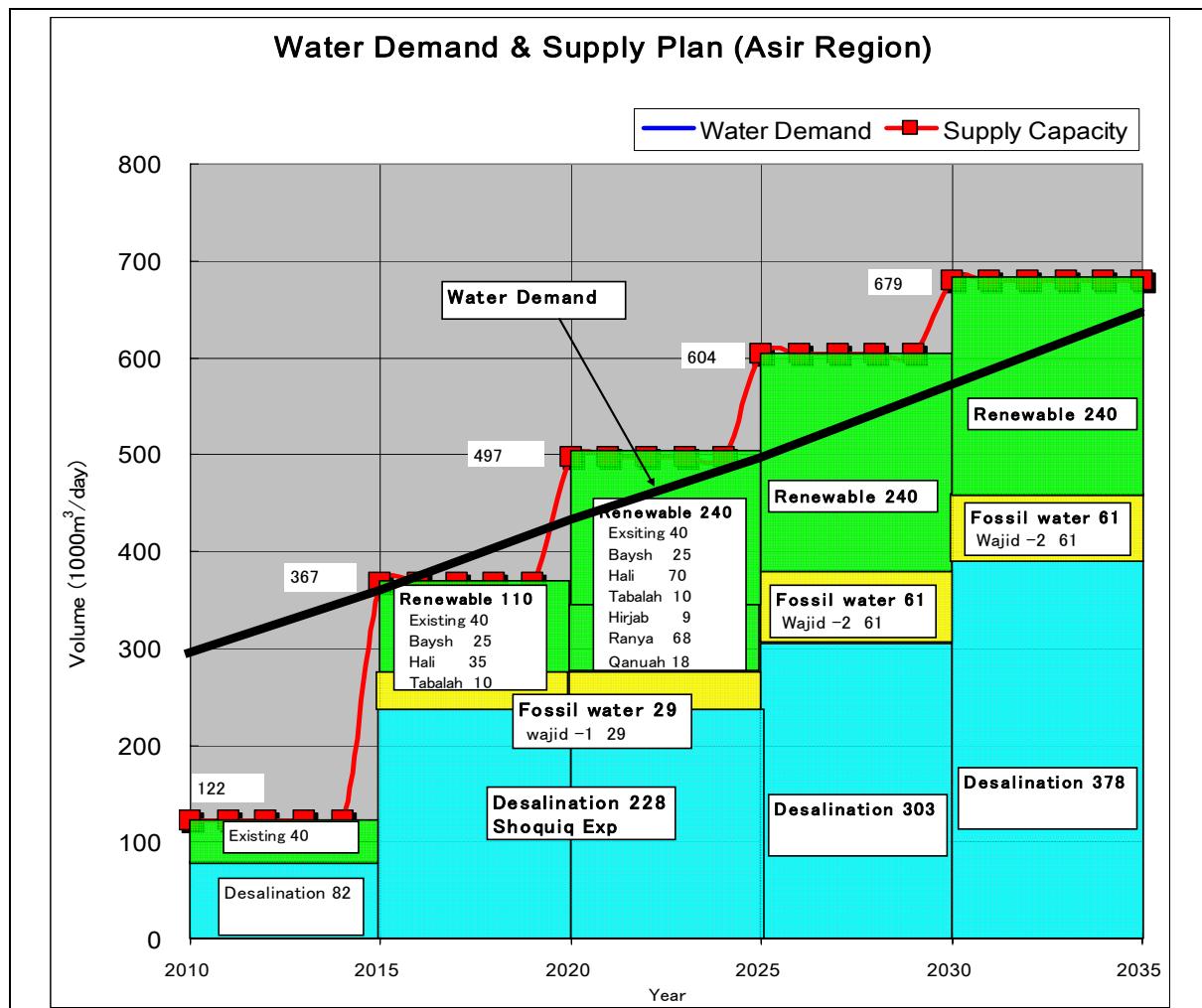


図 C. 3-7 Asir 州の水需要供給計画(2011-2035)



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）

(2) 5年ごとの施設整備計画

<2011 年-2015 年の整備計画>

Asir 州の 2015 年の水需要量は、 $361,000\text{m}^3/\text{日}$ である。Asir 州の水資源開発施設としては、再生可能水として Jazan 州の Baysh ダムからの供給 $25,000\text{m}^3/\text{日}$ と Makkah 州の Hali ダムからの供給 $35,000\text{m}^3/\text{日}$ および Asir 州で建設中の Tabalah ダムからの供給 $10,000\text{m}^3/\text{日}$ の計 $70,000\text{m}^3/\text{日}$ を新規の再生可能水開発量として計上する。

表 C. 3-12 Asir 州給水計画(2011-2015)

給水内訳	区分	給水能力 ($\text{m}^3/\text{日}$)	給水比率 (%)
◆ 再生可能水		110,000	30
● 既存施設	既設	40,000	
● Baysh Dam	新設	25,000	
● Hali Dam	新設	35,000	
● Tabalah Dam	新設	10,000	
◆ 海水淡水化水		228,000	62
● Shuqaiq Plant	既設	82,000	
● Shuqaiq Plant	増設	146,000	
◆ 化石水		29,000	8
● Wajid Aquifer	新設	29,000	
合計給水能力		367,000	100

従って、既存の再生可能水の供給能力 $40,000\text{m}^3/\text{日}$ と合わせて、合計 $110,000\text{m}^3/\text{日}$ が再生可能水の供給能力である。

一方、海水淡水化水の供給は、Shuqaiq 淡水化施設から 2010 年時点での $82,000\text{m}^3/\text{日}$ の水供給を受けているが、2015 年までに $228,000\text{m}^3/\text{日}$ に拡大される予定である。

また、Asir 州内陸部への水供給として、Najran で開発中の Wajid 化石水からの供給を計画する。計画供給能力は約 $29,000\text{m}^3/\text{日}$ である。

2015 年までの水供給体制は、再生可能水、化石水、海水淡水化水と合わせて合計 $367,000\text{m}^3/\text{日}$ の供給能力となる。その結果、全供給能力に占める再生可能水の占める割合は 30%、海水淡水化水

62%、化石水 8%となる。

新たな施設計画の概要は、以下の通りである。

表 C. 3-13 Asir 州給水施設計画(2011-2015)

施設名	諸元
Pipeline D	Section: Shuqaiq-Abha, Length=124Km
Shuqaiq Desalination Plant	Production Volume: 228,000 m ³
Wajid Aquifer Facilities	Section: Wajid- Tath Lith, Length=150 Km

注)位置図については、図 C. 3-8 参照

<2016 年-2020 年の整備計画>

Asir 州の 2020 年の水需要量は、432,000m³/日である。2020 年までに Hirjab ダム・Ranyah ダム・Qanunah ダムの建設を促進することを提案する。供給水量として Hirjab ダム 9,000m³/日、Ranyah ダム 68,000m³/日、Qanunah ダム 18,000m³/日の給水量が見込まれる。また、Al Baha 州へ供給していた Hali ダム 35,000m³/日を Asir 州へ返還供給する計画とする。

従って、再生可能水量の増加量は 130,000m³/日となり、再生水供給量は既存の施設能力 110,000m³/日と合わせて、合計 240,000m³/日となる。この時点で再生可能水の開発は最大限の開発となる。

海水淡水化水及び化石水の供給能力については、2016 年までの開発水量（化石水 29,000m³/日、海水淡水化水約 228,000m³/日）を維持し、新規の開発は行わない。従って、合計水供給能力は 497,000m³/日となる。

供給能力に対する各タイプの水供給の割合は、再生可能水 48%、海水淡水化水 40%、化石水 6%となる。

表 C. 3-14 Asir 州給水計画(2016-2020)

給水内訳	区分	給水能力 (m ³ /日)	給水比率 (%)
◆ 再生可能水		240,000	48
● 既存施設	既設	110,000	
● Hirjab Dam	新設	9,000	
● Ranyah Dam	新設	68,000	
● Hali Dam	増設	35,000	
● Qanunah Dam	増設	18,000	
◆ 海水淡水化水		228,000	46
● Shuqaiq Plant	既設	228,000	
◆ 化石水		29,000	6
● Wajid Aquifer	既設	29,000	
合計給水能力		497,000	100

新たな施設計画の概要は、以下の通りである。

表 C. 3-15 Asir 州給水施設計画(2016-2020)

施設名	諸元
Pipeline E	Section: Shuqaiq-Ar Birk, Length=96Km
Pipeline H	Section: Abha-Al Janabin, Length=148Km
Pipeline G	Section: Abha-Al Alayan, Length=216Km

注)位置図については、図 C. 3-8 参照

<2021 年-2025 年の整備計画>

2021 年以降は、再生可能水の開発が見込まれないことから、化石水及び海水淡水化施設により水需要増に対応するものとする。

表 C. 3-16 Asir 州給水計画(2021-2025)

給水内訳	区分	給水能力 (m ³ /日)	給水比率 (%)
◆ 再生可能水		240,000	40
● 既存施設	既設	240,000	
◆ 海水淡水化水		303,000	50
● Shuqaiq Plant	既設	228,000	
● Shuqaiq Plant	増設	75,000	
◆ 化石水		61,000	10
● Wajid Aquifer	既設	29,000	
● Wajid Aquifer	増設	32,000	
合計給水能力		604,000	100

化石水開発量としては、Wajid 帯水層から第 2 期開発により、32,000m³/日を見込むものとする。また、海水淡水化水としては、Shuqaiq プラントから Jazan 州へ供給されている 75,000m³/日を Asir 州の供給へ振り替える。

従って、海水淡水化水の供給量は 303,000m³/日となる。これは Shuqaiq 海水淡水化施設の全能力に相当する。なお、Jazan 州は、新設する海水淡水化施設により、Asir 州へ振り分けた海水淡水化水量を補填する。従って、合計水供給能力は 604,000m³/日となる。

供給能力に対する各タイプの水供給の割合は、再生可能水 40%、海水淡水化水 50%、化石水 10%となる。

新たな施設計画の概要は、以下の通りである。

表 C. 3-17 Asir 州給水施設計画(2021-2025)

施設名	諸元
Pipeline C	Section: Al Baha-Al Alaya, Length=105Km
Pipeline I	Section: Al Alayan -Bisha, Length= 96Km
Wajid Aquifer(Stage II)	Section: Tathlith – Bisha, Length=96Km

注)位置図については、図 C. 3-8 参照

<2026-2035 年の整備計画>

この期間の需要増に対しては、Shuqaiq プラントの増強 (75,000m³/日) で対応する。これにより、水供給能力は、再生可能水 240,000m³/日、化石水 61,000m³/日および海水淡水化水 378,000m³/日となり、合計 679,000m³/日となる。この時点 (2030 年) の給水能力は、2035 年の需要 (648,000m³/日) まで対応できる。

供給能力に対する各タイプの水供給の割合は、再生可能水 35%、海水淡水化水 56%、化石水 9%となる。

2035 年時点の水供給施設を図 C. 3-9 に示す。

表 C. 3-18 Asir 州給水計画(2026-2035)

給水内訳	区分	給水能力 (m ³ /日)	給水比率 (%)
◆ 再生可能水		240,000	35
● 既存施設	既設	240,000	
◆ 海水淡水化水		378,000	56
● Shuqaiq Plant	既設	303,000	
● Shuqaiq Plant	増設	75,000	
◆ 化石水		61,000	9
● Wajid Aquifer	既設	61,000	
合計給水能力		679,000	100

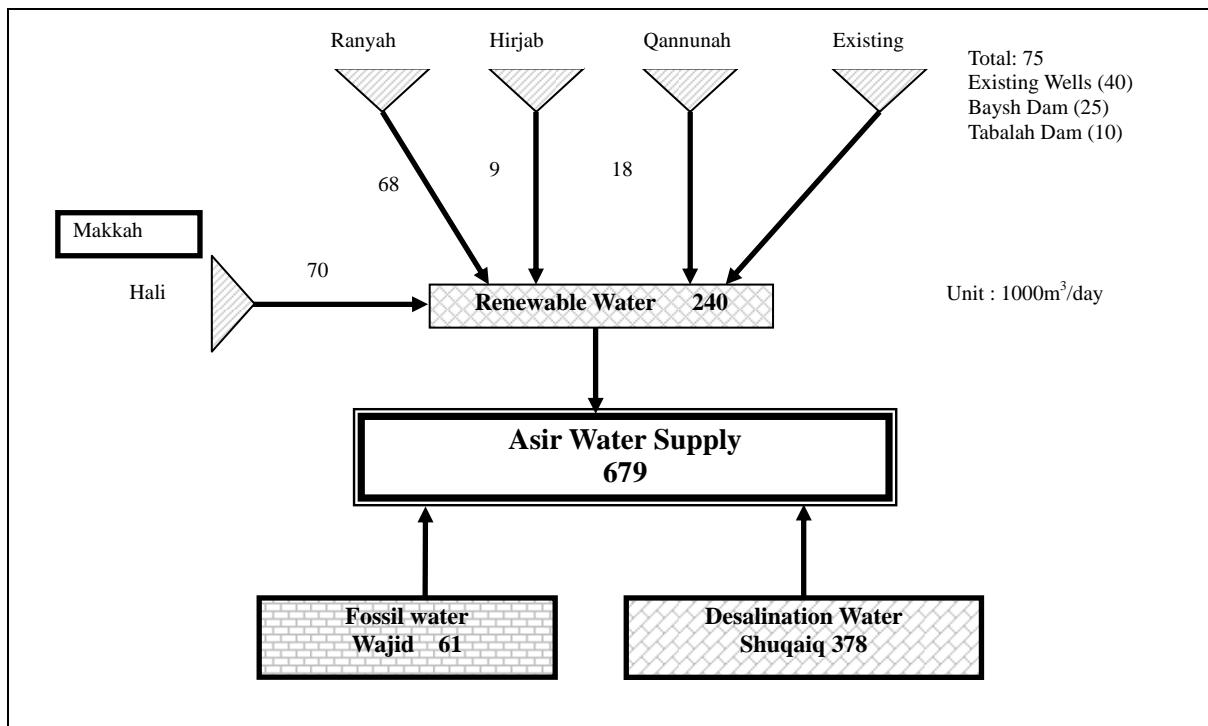


図 C. 3-9 Asir 州の水供給計画とその水源 (2035 年時点)

3.2.3 Jazan 州

(1) 需要供給計画

Jazan 州の給水計画を表 C. 3-19 と表 C. 3-20 および図 C. 3-10 と図 C. 3-11 に示す。

表 C. 3-19 Jazan 州給水計画

水資源	0000-2010	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

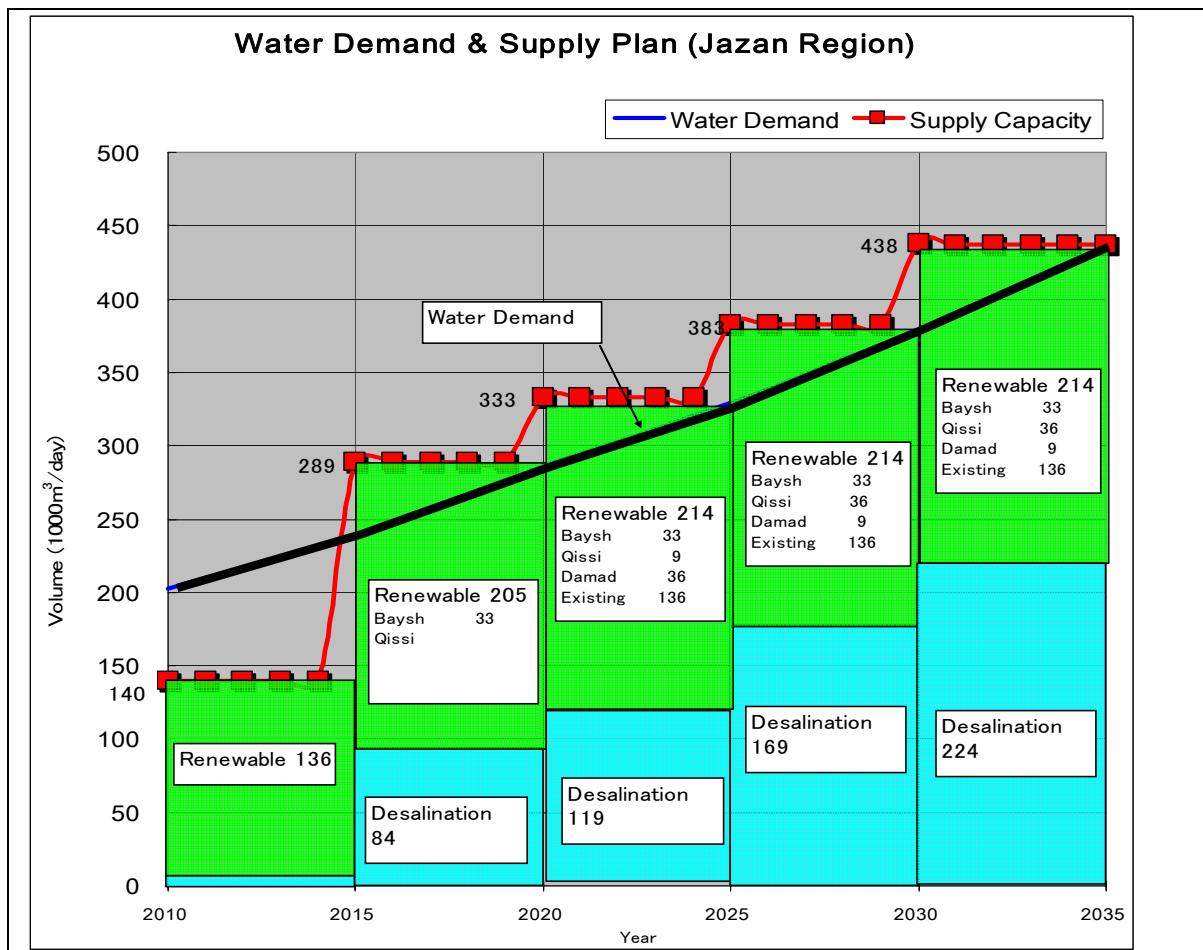


図 C.3-10 Jazan 州の水需要供給計画(2011-2035)

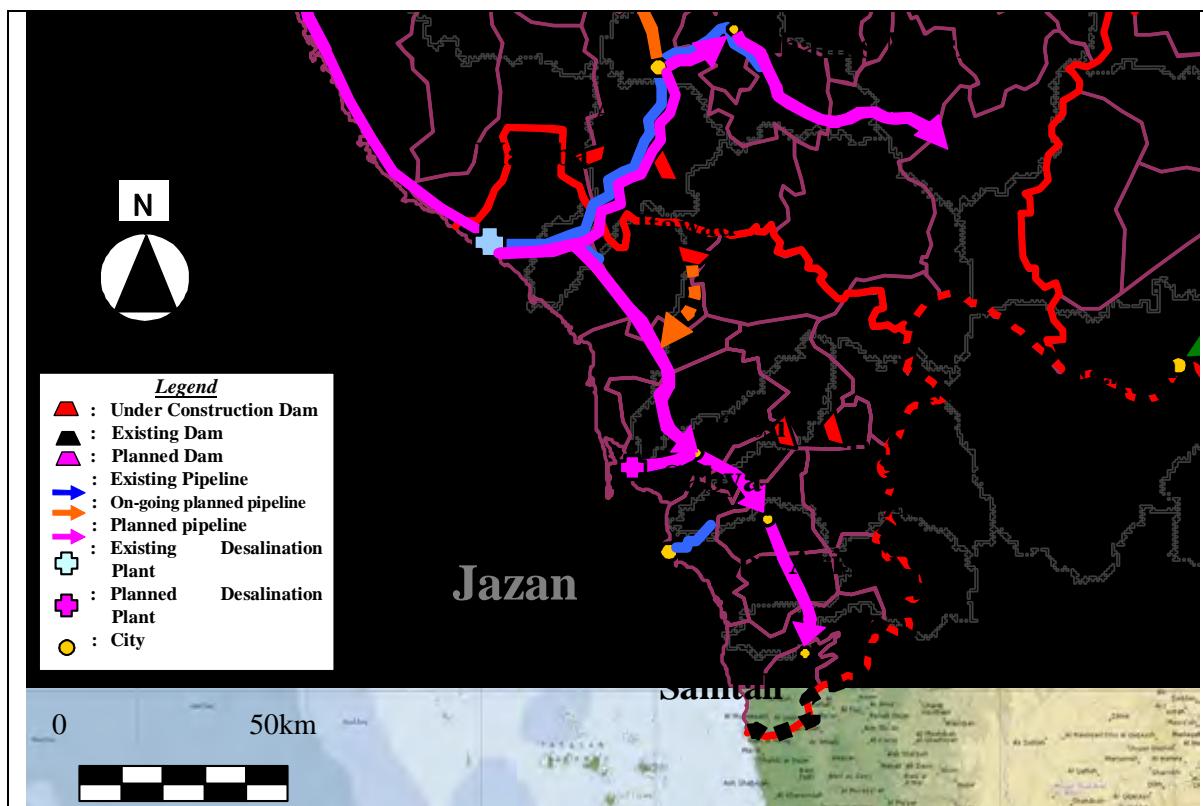


図 C.3-11 Jazan 州の計画ダムと淡水化プラント（既存施設を含む）

(2) 5年ごとの施設整備計画

<2011年-2015年の整備計画>

Jazan 州の 2015 年の水需要量は、238,000m³/日である。Jazan 州の再生可能水の給水施設としては、2011 年時点 Baysh ダム、Damad ダムが建設中である。水供給能力としての開発量は、各々 33,000m³/日、36,000m³/日が見込まれている。Baysh ダムの開発水は、広域ネットワークに組み込まれるが、Damad ダムの開発水は、ローカル対応として利用される予定である。再生可能水の供給能力は、合計で 205,000m³/日となる。

海水淡水化水としては、Shuqaiq プラントより、既設の給水能力 3,000m³/日に加えて 72,000m³/日が供給される予定となっている。また、Farasan プラントは、8,000m³/日に増強される。

従って、総給水可能量は、新規に開発される再生可能水、海水淡水化水及び既存の水資源供給量を合わせた合計 289,000m³/日となる。水供給能力に占める再生可能水の割合は 71%、海水淡水化水は 29%である。

表 C.3-20 Jazan 州給水計画(2011-2015)

給水内訳	区分	給水能力 (m ³ /日)	給水比率 (%)
◆ 再生可能水		205,000	71
● 既存施設	既設	136,000	
● Baysh Dam	新設	33,000	
● Damad Dam	新設	36,000	
◆ 海水淡水化水		84,000	29
● Shuqaiq Plant	既設	3,000	
● Farasan Plant	既設	1,000	
● Shuqaiq Plant	増設	72,000	
● Farasan Plant	増設	8,000	
合計給水能力		289,000	100

新たな施設計画の概要は、以下の通りである。

表 C.3-21 Jazan 州給水施設計画(2011-2015)

施設名	諸元
Pipeline F	Section: Shuqaiq-Samta, Length=151Km

注)位置図については、図 C.6-1 参照

<2016年-2020年の整備計画>

Jazan 州の 2020 年の水需要量は、286,000m³/日である。この期間における再生可能水として Qissi ダムの完成が見込まれ、水供給能力 9,000m³/日が開発される見込みである。Jazan 州における有望な再生可能水の開発は、このダムの完成により、ほとんど終了することとなる。再生可能水の供給量は合計で、214,000m³/日となるが、Qissi ダムによる供給だけでは、水需要の増加に対応できないため、新規に Jazan 州対応の海水淡水化施設（容量 35,000m³/日）を Sabya 地域に建設することを計画する。海水淡水化水の供給は、Shuqaiq 淡水化施設からの供給 75,000m³/日および Farasan プラントからの供給 9,000m³/日と合わせて合計 119,000m³/日となる。

この期間の水供給能力は、再生可能水 214,000m³/日と海水淡水化水 119,000m³/日の合計 333,000m³/日となる。総供給能力に占める割合は、再生可能水 64%、海水淡水化水 36%となる。

表 C. 3-22 Jazan 州給水計画(2016–2020)

給水内訳	区分	給水能力 (m ³ /日)	給水比率 (%)
◆ 再生可能水		214,000	64
● 既存施設	既設	205,000	
● Qissi Dam	新設	9,000	
◆ 海水淡水化水		119,000	36
● Shuqaiq Plant	既設	75,000	
● Farasan Plant	既設	9,000	
● Sabya Plant	新設	35,000	
合計給水能力		333,000	100

新たな施設計画の概要は、以下の通りである。

表 C. 3-23 Jazan 州給水施設計画(2016–2020)

施設名	諸元
Sabya Desalination Plant	Production Volume: 35,000 m ³

注)位置図については、図 C. 3-11 参照

<2021 年–2025 年の整備計画>

Jazan 州の 2025 年の水需要量は、329,000m³/日である。再生可能水の開発が、ポテンシャル的に困難であることから海水淡水化水の増強による対応とする。従って、供給可能量は再生可能水 214,000m³/日(2025 年までの施設)と海水淡水化水 169,000m³/日とし、合計 383,000m³/日の供給能力となる。

表 C. 3-24 Jazan 州給水計画(2021–2025)

給水内訳	区分	給水能力 (m ³ /日)	給水比率 (%)
◆ 再生可能水		214,000	56
● 既存施設	既設	214,000	
◆ 海水淡水化水		169,000	44
● Shuqaiq Plant	既設	0	
● Farasan Plant	既設	9,000	
● Sabya Plant	増設	160,000	
合計給水能力		383,000	100

2025 年に Shuqaiq からの送水を停止することを提案し、その代替として、2025 年までに Sabya 海水淡水化水施設を増強する。その増強規模は、Shuqaiq からの送水能力 75,000m³/日を含め、125,000m³/日とする。合計施設規模は、160,000m³/日となる。

総給水能力に占める割合は、再生可能水が 56%、海水淡水化水が 44% となる。

新たな施設計画の概要は、以下の通りである。

表 C. 3-25 Jazan 州給水施設計画(2021–2025)

施設名	諸元
Sabya Desalination Plant	Extension Production Volume: 160,000 m ³

注)位置図については、図 C. 3-11 参照

<2026 年–2035 年の整備計画>

2026 年および 2035 年の水需要量はそれぞれ 379,000m³/日および 436,000m³/日である。Sabya 淡水化プラントを 55,000m³/日増強することにより、需要増に対応する。その結果、海水淡水化水は、224,000m³/日となり、再生可能水 214,000m³/日と合わせて、合計 438,000m³/日の供給能力を確保する。

総供給能力に占める再生可能水の割合は 49%、海水淡水化水 51% となり、ほぼ半分ずつの水供給と

なる。

表 C. 3-26 Jazan 州給水計画(2026–2035)

給水内訳	区分	給水能力 (m ³ /日)	給水比率(%)
◆ 再生可能水		214,000	49
● 既存施設	既設	214,000	
◆ 海水淡水化水		224,000	51
● Farasan Plant	既設	9,000	
● Sabya Plant	既設	160,000	
● Sabya Plant	新設	55,000	
合計給水能力		438,000	100

上表で、2035 年時点での再生可能水の給水内訳は、州内の Baysh ダム、Qissi ダム、Damad ダム等のダム群での開発水(78,000m³/日)と井戸等での開発水の 136,000m³/日の合計、214,000m³/日である。

淡水化水は、Farasan プラントと Sabya プラントからの合計で、224,000m³/日となり合計給水能力は、438,000m³/日となり、水需要 436,000m³/日に対応できる。

新たな施設計画の概要は、以下の通りである。

表 C. 3-27 Jazan 州給水施設計画(2026–2030)

施設名	諸元
Sabya Desalination Plant	Extension Production Volume: 55,000 m ³

注)位置図については、図 C. 3-11 参照

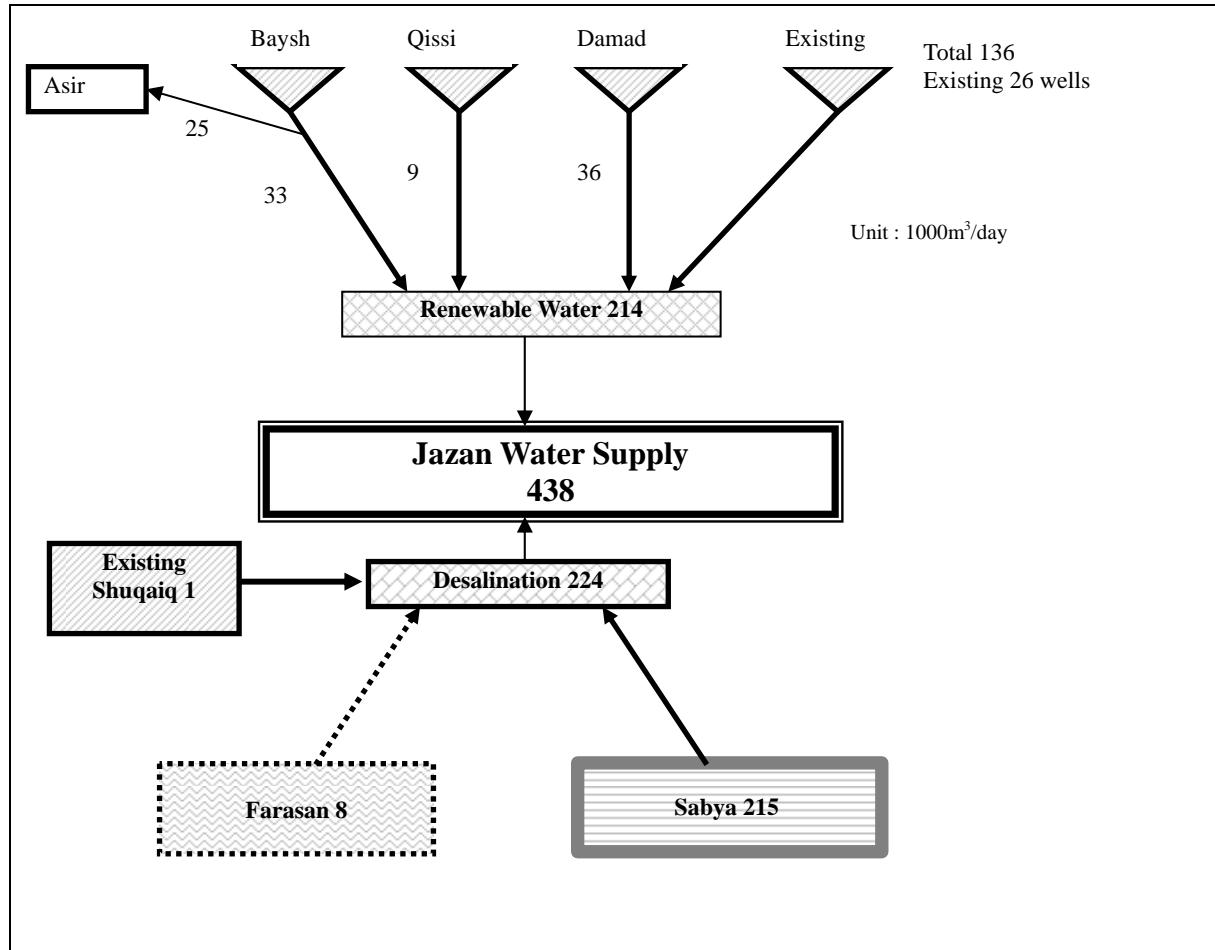


図 C. 3-12 Jazan 州の水供給計画とその水源 (2035 年時点)

第4章 水需要の管理

4.1 都市用水

4.1.1 需要管理のための取り組み

使用水量を需要側で減少させるためには、需要特性に応じた対策を検討する必要があり、以下の提案を行う。

(1) 「水の3-R運動」の取り組み

国際的には、従来ゴミとして廃棄処分されていた資源に対して、資源の有効活用の観点から、「資源の使用量の削減(Reduce)、再利用(Reuse)、リサイクル(Recycle)」の“3R”の取り組みが行われ成果をあげている。この取り組みは貴重で有限な資源である水に対しても適用可能であると考える。

公共水道の普及率の低い地域では一人当たりの使用水量も少なく、水が大切に使用されていると考えられる。この水利用に対する認識は普段の習慣により身に付けたものと考えられる。このような習慣化をはかることにより、「水が貴重な資源である」という認識を身に付けることも可能である。

ここでは、節水の習慣化、貴重な水資源の保全への関心を高める方法の一つとして、「“3R”キャンペーン（使用水量の削減（Reduce）、一度使用した水の再使用（Reuse）、一度使用した水を適切に処理し再利用（Recycle）」を提案する。

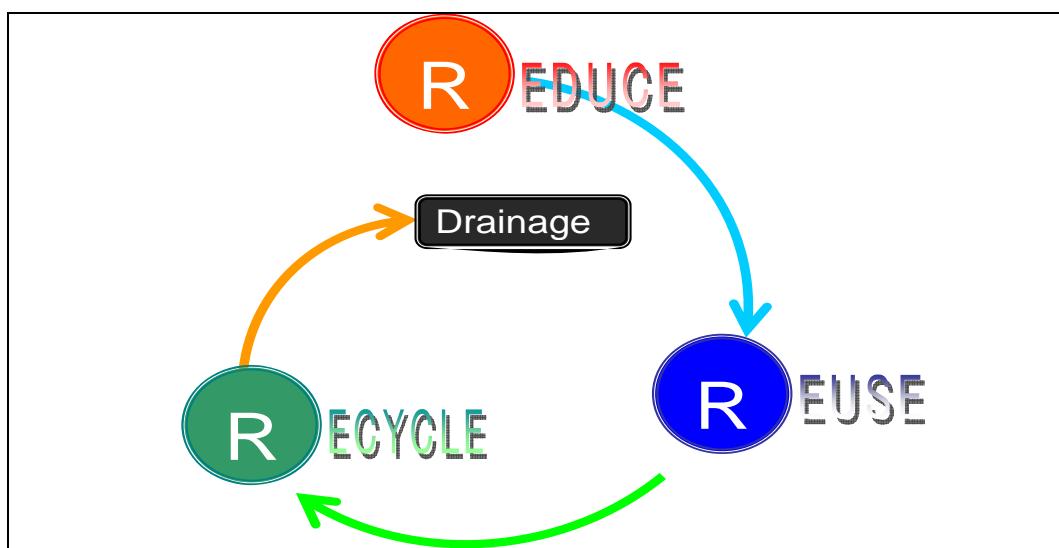


図 C.4-1 生活用水の節水活動(3R)の概念図

一番目の柱(Reduce)は「使用量の削減」であり、二番目の柱(Reuse)は一度使用した水の再利用である。例えば、「サ」国ではモスクで行う一日5回のお祈りの前には、身を清めるために水を使用する習慣がある。このような水を集め、周囲の緑化用水等に再利用することなども検討の余地がある。三番目の柱(Recycle)は水のリサイクルである。これは、例えば、工場のなかで使用した洗浄水を回収し、浄化した後に再び工場の中で洗浄水やその他の用途として利用するものである。

表 C.4-1 節水活動の事例

Reduce	<ul style="list-style-type: none"> 水消費の節約（トイレ、洗濯、風呂、料理等） 漏水の防止対策
Reuse	<ul style="list-style-type: none"> モスクで使用した水を回収し、庭の散水、洗車等に使用
Recycle	<ul style="list-style-type: none"> 下水処理水→果樹や街路樹等のために使用 工場内での洗浄水や冷却水を処理後再利用

(2) 学校生活の中での節水活動

学習活動は、学校生活の中で取り入れられると特にその効果が大きいことが確認されている。子供達は、家庭では親に自分達の学んだことを伝達する。また、いったん習慣が身に付いた子供は成長してもその習慣をもった成人となる可能性が高い。モスクにおける礼拝が生活の一部となっていることから、このような場における啓蒙活動の推進も検討の余地があると考えられる。

(3) 節水機器導入の奨励

水使用機器による節水は、機器が導入されれば、利用者の意識にかかわらず自動的に一定の節水効果が得られるという特徴があり、導入の効果は持続し、かつ、大きい。

都市活動用水の分野では、空調設備における循環利用が行われているほか、節水型水洗便器等の開発利用が進んでいる。

家庭用水の分野では、水利用機器に関連して使用される水量が非常に大きい。このため、主要な水利用機器である水洗便器・洗濯機・シャワー等の改善は、家庭用水の使用量の削減に効果的である。「サ」国では今後ますます生活水準も向上し、家庭内でも水利用機器の導入が促進されるものと予想される。

3Rを進める契機として、今後は政府として、節水型の水洗便器、洗濯機等の水利用機器導入を促進する法律や制度、たとえば、政府が助成金を出して市民への購入動機付けをするなど、による取り組みが考えられる。

工業用水セクターでは、冷却用水及び温度調節用水の循環利用が取り組みやすい部門である。さらに再利用率を向上させるためには、製造プロセスにおける、節水型の機器の整備が必要となる。

(4) 給水価格による水需要調整

水道用水の大部分を占める生活用水使用量は、屋内用水の使用量については、家庭の構成人員数や家族風呂・洗濯機・水洗便所・自動食器洗い機等の普及の度合いと、家の広さ、家庭の収入の程度などが変動の主要な因子である。屋外用水の使用量に関する因子は庭の広さ、散水の回数、保有自動車の台数、洗車の回数などである。その他水料金も重要な因子の一つである。

日本(の国土庁)の調査結果では、水量変動の24%が消費支出と給水価格とで説明され、47%が水洗便所等主要水使用機器の普及格差で説明されることが見出された。生活環境がことなることから日本の事例が「サ」国でも同様の傾向とは限らないが、主要な因子として消費支出、給水価格、水使用機器の普及が重要と考えられる。

米国のジョンホプキンス大学の研究では、給水価格を2倍にすると屋内用水は約20%減少するであろうと報告されている。水道の給水価格を2倍にするというような改革は困難であると推測されるが、給水価格によって水使用量は一定の管理が可能といえる。

(5) 適正な水道料金とその徴収

水道料金についてはブロック累進制の料金体系をとっている。しかし、リヤドの事例では下図のように、ほとんどの利水がもっとも安い料金区分に含まれている。さらに、各利用者のところに流量積算メーターが設置されていないケースが多く、実態として従量制の料金を徴収する体制ができていないという点も指摘される。

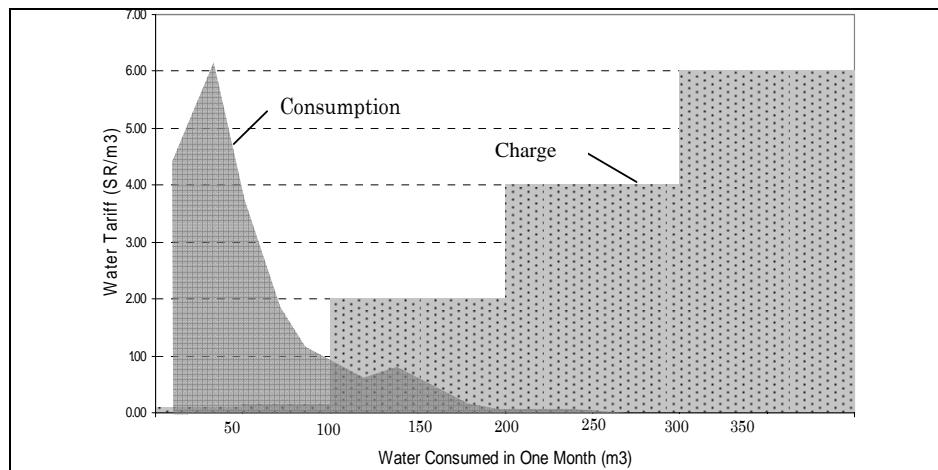


図 C.4-2 リヤド(居住区)における水使用量と水道料金

調査対象地域でも管路網により供給されている地域では、同様に、メーターが設置されておらず、事実上、使用量の把握とそれに基づく料金の徴収が行われていない。適切な水道料金の設定と、それによる資金の回収および使用水量の節減のためには、調査対象地域におけるメーター設置を行うことが必要である。

4.1.2 需要減による財政面での縮減効果

ここでは、B 編の第 3 章 (3.1.7) で記述した都市用水の需要に関する感度分析の結果を用いて、需要変動によって生ずる経済的な効果について検討する。

評価ケースは、(1)給水原単位の 10% 低減、(2)現行給水単位による需要、(3)漏水率の 5% 改善の場合である。いずれの場合も計画目標年 (2035 年) における需要を仮定した。

(1) 給水原単位 10% 低減による財政面での効果

MOWE との協議により決定された給水原単位は、乾燥地域にある周辺国と比較して大きめの給水原単位となっている。ここでは、現在の実態を参考として 10% 低減した場合に低減される需要量に対する経済的な効果について検討する。給水原単位 10% 低減時の需要の削減量は、財政的には表 C.4-2 に示すとおりとなる。

表 C.4-2 給水原単位 10% 低減による財政縮減効果

	Makkah Region	Al Baha Region	Asir Region	Jazan Region	Najran Region
都市用水需要 (標準) (1000m³/日)	2,278	135	648	436	178
給水原単位 10% 低減時 需要 (1000m³/日)	2,065	118	585	389	160
需要削減量 (1000m³/日)	213	17	63	47	18
削減水量に相当する政府 補助 (*1) (million SR/year)	279.9	44.7	165.6	61.8	23.7 (*2)
				合計	575.7
(参考) ダムによる新規開発水量 ダム名称 (開発水量: 1000m³/日)	Rabigh (44) Maruwani (36) Al Lith (16) Yiba (38) (合計 144)	Nilah (11) Al Janabin (5) (合計 16)	Ranya (68) Hirjab (9) Tabalah (16) Baysh (25) Qanunah (30) Halil (70) (合計 218)	Baysh (33) Qissi (9) Damad (36) (合計 78)	

*1) 削減水量に相当する政府補助の算定は、「報告書 3.2 下水再生水」の利用メリットの検討の方法を参考とした。海水淡水化水の水単価は、Al Baha と Asir は $7.2\text{SR}/\text{m}^3$ ($8.0\text{SR}/\text{m}^3 \times 90\% = 7.2\text{SR}/\text{m}^3$)、Makkah、Jazan 及び Najran は $3.6\text{SR}/\text{m}^3$ ($4.0\text{SR}/\text{m}^3 \times 90\% = 3.6\text{SR}/\text{m}^3$) と仮定した。

*2) Najran 州は海水淡水化水が供給されていないが、ここでは評価としては海水淡水化水と仮定した。

上表より、5州の合計では575.7百万SRが1年間に節約できることとなる。これはまた、ダム建設による新規開発水量で評価すると、Makkah州とAl Baha州では現在計画中のダムによる開発水量よりも大きくなるほか、他の州でも複数のダムによる開発水量に相当する。

ダムによる新規開発の水価が海水淡化化より安価であるから、ダム開発を優先させると、結局海水淡化化水の生産量の縮減が、財政の負担軽減となる。

(2) 現行給水原単位を継続する場合の財政面での効果

給水原単位は生活様式の変化や経済力の向上によって増大する傾向にある。しかし、3-R運動をはじめとする様々な節水の取組により、一定の節水効果を期待できる。ここでは、現行の給水原単位が市民の節水努力で現状維持されるという仮定について、経済的な評価を行った。現行給水原単位を将来にわたり供給するという前提での需要の削減量は、財政的には表C.4-3に示すとおりとなる。

表C.4-3 現行給水原単位継続による財政効果

	Makkah Region	Al Baha Region	Asir Region	Jazan Region	Najran Region
都市用水需要（標準） (1000m ³ /日)	2,278	135	648	436	178
現行給水原単位時需要 (*1) (1000m ³ /日)	2,066	122	583	392	160
需要削減量(1000m ³ /日)	212	13	65	44	18
削減水量に相当する政府補助(*2) (million SR/year)	278.6	34.2	170.8	57.8	23.7 (*3)
				合計	565.1
(参考) ダムによる新規開発水量 ダム名称（開発水量： 1000m ³ /日）	Rabigh (44) Maruwani (36) Al Lith (16) Yiba (38) (合計 144)	Nilah (11) Al Janabin (5) (合計 16)	Ranya (68) Hirjab (9) Tabalah (16) Baysh (25) Qanunah (30) Halil (70) (合計 218)	Baysh (33) Qissi (9) Damad (36) (合計 78)	

*1) 感度分析のOption4及びOption5の需要から推定した。

*2) 削減水量に相当する政府補助の算定は、「報告書3.2下水再生水」の利用メリットの検討の方法を参考とした。
海水淡化化水の水単価は、Al BahaとAsirは7.2SR/m³ (8.0SR/m³ x 90% = 7.2SR/m³)、Makkah、Jazan及びNajranは3.6SR/m³ (4.0SR/m³ x 90% = 3.6SR/m³)と仮定した。

*3) Najran州は海水淡化化水が供給されていないが、ここでは評価としては海水淡化化水と仮定した。

5州の合計では565.1百万SRが1年間に節約できることとなる。これはまた、ダム建設による新規開発水量で評価すると、Makkah州では現在計画中のダムによる開発水量よりも大きくなるほか、他の州でも1～複数のダムによる開発水量に相当する。ダム開発を優先させると、結局海水淡化化水の生産量の縮減が、財政の負担軽減となる。

(3) 漏水率5%改善による財政面での効果

既存の管路ネットワークの実態や漏水率改善計画などのデータがないため、本調査の需要予測は、MOWEの基本シナリオに含まれる20%を適用して行った。国家の目標としては15%としており、これが達成されるとどの程度の経済的な効果があるかを推定した。現行給水原単位を将来にわたり供給するという前提での需要の削減量は、財政的には表C.4-4に示すとおりとなる。

同表から、5州の合計では286.5百万SRが1年間に節約できることとなる。ダム建設による新規開発水量で評価すると、各州で複数のダムによる開発水量に相当する。

表 C. 4-4 漏水率 5%改善による財政効果

	Makkah Region	Al Baha Region	Asir Region	Jazan Region	Najran Region
都市用水需要（標準） (1000m ³ /日)	2,278	135	648	436	178
漏水率 5%改善時需要 (1000m ³ /日)	2,171	124	616	411	169
需要削減量(1000m ³ /日)	107	11	32	25	9
削減水量に相当する政府 補助(*1) (million SR/year)	140.6	28.9	84.1	32.9	11.8 (*2)
				合計	298.3
(参考) ダムによる新規開発水量 ダム名称（開発水量： 1000m ³ /日）	Rabigh (44) Maruwani (36) Al Lith (16) Yiba (38) (合計 144)	Nilah (11) Al Janabin (5) (合計 16)	Ranya (68) Hirjab (9) Tabalah (16) Baysh (25) Qanunah (30) Halil (70) (合計 218)	Baysh (33) Qissi (9) Damad (36) (合計 78)	

*1) 感度分析の Option4 及び Option5 の需要から推定した。

*2) 削減水量に相当する政府補助の算定は、「報告書 3.2 下水再生水」の利用メリットの検討の方法を参考とした。海水淡水化水の水単価は、Al Baha と Asir は 7.2SR/m³ (8.0SR/m³ x 90% = 7.2SR/m³)、Makkah、Jazan 及び Najran は 3.6SR/m³ (4.0SR/m³ x 90% = 3.6SR/m³) と仮定した。

*3) Najran 州は海水淡水化水が供給されていないが、ここでは評価としては海水淡水化水と仮定した。

4.1.3 需要管理の提案

調査対象地域では、再生可能水資源だけで都市用水需要を供給することはできないため、海水淡水化水や化石地下水によって不足分を補う必要がある。海水淡水化による造水単価は再生可能水資源に比べて高価であるため、再生可能水資源を優先して使用し、海水淡水化水の生産量を調整することが、全体として経済的な水利用となる。

このため、都市用水の節水や下水処理水を都市用水として使用することができると、最終的には海水淡水化水の生産量を縮減でき、海水淡水化水を生産、供給するために国が行っている財政的な支出を抑制することができる。

都市用水の需要を管理することは結果的に国の財政負担の軽減の面から重要である。ここでは、4.1.2 の結果もふまえて、今後の需要管理に関する提案を行う。

(1) 供給原単位の低減にかかる提案

一般家庭への節水型機器の導入促進（洗濯機、食器洗い機、水洗トイレ）

節水型機器の能力を公表し、節水の程度に応じた助成制度を設置し、節水型機器の導入の促進を図る。公共施設、雑居ビル、住宅の建設に当たっては、節水型機器の導入を義務つけるルールを確立する。

長期的な節水目標を掲げ、計画的かる持続的な広報活動を行って取り組むことで、生活用水の使用量の削減につながる。

工場内の節水型施設更新の促進

Makkah 州、Asir 州以外は当分工業用水の需要がほとんど発生しない。Makkah 州や Asir 州では工業の拡大が予想されるから、これらの取組が必要である。

施設の更新、新設時期に合わせ、節水型の機器の導入、水のリサイクルのための改造などにより節水を促進させるため、機器の導入に当たって融資等で有利な条件となる制度を創設する。工場ごとの水のリサイクル率などを公表し、経営者にも節水の重要性を認識させる。

また、工場の排水規制を強化することにより、使用する水量を削減する。

水道料金、下水道料金体系の見直し

現行の水道料金は世界的な水準からみても非常に安価となっている。水道料金を適切に設定することで節水を促進する。

下水使用料を徴収することによって、排水、ひいては生活用水の使用量の削減につながるので、現行の下水使用の料金体系を見直す。使用量が正確に把握できるようメーターの設置を徹底する。

教育、啓蒙による節水意識の向上

3-R の取組を学校、公共の機会を通じて拡大し、節水意識を向上させることにより、使用水量を軽減する。

(2) 漏水率の改善にかかる提案

老朽化管路の計画的な更新

長期的な視野にたって、管路の適切な維持管理を行う体制を強化する。また、末端の配水管には更新計画に盛り込む。更新を計画的に行う資金を得るため、適当な料金水準を維持する。

流量計による供給量と実際の配水量の検証

供給量と実際の配水量の確認により漏水を把握し、重点的に点検、修理することで効率的に漏水率の改善を図る。

漏水診断技術の導入

漏水発見のための機器や診断技術を導入し、漏水の早期発見体制を構築する。優れた漏水診断技術は、研修等により習得する。

需要管理の促進には多くのコストを要するが、既にみたように、供給原単位が 10% 小さくなるだけで、いくつものダムによる水源開発が不要となるほどの効果がある。節水目標をさだめ、それによって削減できる財政的負担を想定し、需要管理にかけることのできるコストを検討することが重要である。

4.2 農業用水需要の管理

4.2.1 需要量抑制のための将来の作付計画

農業のための水資源開発は、表流水については Jazan 州で建設中の Baysh ダム、Damad ダム以外の新規の水資源開発は期待できない状態にあり、今後の水資源は、下水処理水からの再生水の利用、地下ダムを中心とした井戸群による地下水開発が考えられる。

下水処理再生水は、2020 年時点では、Jazan 州では、農業需要の 2% と需要に占める割合は小さいものの、Al Baha 州、Asir 州では、20% 以上を占め、有望な水資源である。地下ダムによる地下水の開発は、Jazan 州で計画されているが、地下水低下の現状、水資源ポテンシャルの観点からは、有望な水資源とはならない。従って、農業のための水資源開発は、下水再生水が主となるものと判断される。

水資源開発があまり期待できないことから、今後は、需要管理が重要となる。農業の水管理における課題は以下のように整理される。

- ◆ 近代かんがい方式の普及が遅れている。
- ◆ かんがい水量の計量が曖昧であり、結果として過剰かんがいとなっている。
- ◆ 農民の水管理技術支援が不足している。
- ◆ 農民の節水意識が低い。

特に、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が必要である。さらに需要管理の観点からは、MOA による Decision335 の方針に従って、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。以上から、農業に関する水資源については、下水再生水の利用、再生可能な範囲内での井戸群による地下水による開発を行っていくものとし、需要管理の観点からは、穀類、飼料作物から野菜、果樹を中心とした作付転換を行うこととする。

需要管理としての節水灌漑の導入、新規水資源としての下水処理の利用並びに農業政策としての作付面積の転換等の施策を行った場合の水収支の検討を行い、2035年における可能作付面積を算出した。

(1) 検討条件

本調査における農業用水の使用実績、需要算定に当たっては、データが不足していること、仮定条件を設定しないと一律な水需要・供給バランスの検討ができないことから、MOA の統計年鑑、MOA 本省並びに地方農業事務所、MOWE ならびに MOWE 地方事務所で収集したデータや水利用計画上の仮定条件を設定している。主なるものは、以下のとおりである。

現況農業用水の使用実績

- ◆ 作付面積、作物係数等により、純用水量を算出し、さらに水路損失、かんがい損失を考慮して、使用実績水源水量を算出した。

需要に関する予測条件

- ◆ 作付面積は、2007年から2035まで一定である。
- ◆ 作付面積が一定であることから、州別の作付面積とその割合も上記の期間は一定である。
- ◆ かんがい効率は、作物ごとに設定しているが、上記の期間は一定である。

水需給バランス検討時の農業用水、表流水、下水再生水等の計算条件

- ◆ 対象とする水資源は、再生可能水資源であり、SWAT による水資源ポテンシャル算定結果を基本データとした。
- ◆ 需給バランスの検討における表流水取水は、都市用水の給水を優先し、30%を都市用水へ、残りの 70%については、農業用水を含む下流での用水使用に割当てた。
- ◆ かんがい効率は、野菜、果樹について、将来さらにスプリンクラー、ドリップ等が普及し灌漑効率が上がることを想定して、現況の 70%から 85%と設定した。
- ◆ 下水の再利用水は、州毎に Ital Consult の算出データから設定した。
- ◆ 作付作物については、今後需要増加が見込まれ水消費の比較的少ない野菜、果樹を中心として、都市近郊において作付を行い、これらに優先的に用水を振り向ける。
- ◆ 水資源の絶対量が不足している場合の水収支計算であるので、総損失量(灌漑水量の 40%)のすべてが反復利用されると設定した。

本調査における農業用水の需要算定、農業計画においては、上記に示した多くの仮定条件を用いて検討しているものの、各州においては、農業用井戸の水位が低下している、井戸が枯渇している等の現象の他に、主要な井戸観測井でも地下水位の低下が見られることから、農業用水のための水資源のポテンシャルが小さいことは明らかである。

(2) 検討結果

検討結果を州別に以下に示す。

<Al Baha 州>

2007年の農業需要量と再生可能水資源量を比較すると、Al Baha、Al Mandaq、Al Qari ガバナレートにおいて水不足が発生する。

計画目標年の 2035 年においては節水灌漑の導入および下水処理水を利用することにより概ね 2007 年レベルの作付け面積は確保できる。

2035 年では、Al Mandaq ガバナレートについては、25ha の作付け削減が必要である。(穀類/飼料作物の作付け面積を 2007 年レベルより 25ha 削減させる)

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(Al Baha 州)

No	Items	Governorate							Total
		Albaha	Biljurashi	Almandaq	Almukwah	Alaqiq	Qilwah	Alqari	
(1)	Planted Area in 2007 (ha)	563	490	589	209	1019	21	1560	4450
(2)	Planted Area in 2035 (ha)	563	490	564	209	1019	21	1560	4425
(3)	Agricultural Water Demand in 2007 (MCM)	6.8	5.9	7.1	2.5	12.3	0.3	18.9	53.9
(4)	Agricultural Water Demand in 2035 (MCM)	6.8	5.9	6.8	2.5	12.3	0.3	18.9	53.6
(5)	Water Supply Demand (MCM)	1.4	0.7	0.4	5.7	3.0	4.9	0.3	16.4
(6)	Water-resources Potential (MCM)	2.6	10.0	3.5	14.4	35.4	21.9	11.6	99.4
(7)	Water-resources after water supply (MCM)	1.2	9.3	3.1	8.7	32.4	17.0	11.3	83.0
(8)	Water Balance in 2035 (MCM) (7)-(4)	-5.6	3.4	-3.7	6.2	20.0	16.7	-7.6	29.4
(9)	Water Saving (MCM)	1.1	0.9	1.1	0.4	1.9	0.0	2.9	8.4
(10)	Waste Water Re-use (MCM)	2.2	0.8	0.0	0.4	0.3	0.2	0.2	4.2
(11)	Return Flow (MCM)	2.7	2.4	2.7	1.0	4.9	0.1	7.6	21.4
(12)	Water Balance (MCM) (8)+(9)+(10)+(11)	0.4	7.5	0.1	8.0	27.2	17.1	3.1	63.4
(13)	Change of cultivation area (ha) in 2035	0	0	-250	00	00	00	00	-250
(14)	Change of irrigation water (MCM) in 2035	0.0	0.0	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3

[Note] (9): Development of Modern irrigation system, (10): Waste water re-use (Data source: By ITAL CONSULT)

(11): Return flow (Irrigation losses) = Demand*(1-1/1.67) = Demand*0.4

<Asir 州>

2007 年の農業需要量と再生可能水資源量を比較すると、Khamis Mushayt、Bisha、An Namas、Ahad Rifaydah、Zahran Aljanub、Balqarn ガバナレートにおいて水不足が発生する。

計画目標年の 2035 年においては節水灌漑の導入および下水処理水を利用することにより、2 つのガバナレートを除き、概ね 2007 年レベルの作付面積は確保できる。

An Namas、Ahad Rifaydah ガバナレートについては、それでもそれぞれ 255ha、40ha の作付け削減が必要である。

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)

No	Items	Governorate							Rijal Alma
		Abha	Khamis Mushayt	Bishah	An Namas	Muhayil	Sarat Abidah	Tathlith	
(1)	Planted Area in 2007 (ha)	3,591	1,947	6,554	965	1,366	521	661	435
(2)	Planted Area in 2035 (ha)	3,591	1,947	6,554	710	1,366	521	661	435
(3)	Agricultural Water Demand in 2007 (MCM)	45.8	24.8	83.6	12.3	17.4	6.6	8.4	5.5
(4)	Agricultural Water Demand in 2035 (MCM)	45.8	24.8	83.6	8.4	17.4	6.6	8.4	5.5
(5)	Water Supply Demand (MCM)	3.9	3.3	4.9	0.3	2.8	0.7	1.0	0.4
(6)	Water-resources Potential (MCM)	65.5	10.2	47.0	2.5	39.9	92.7	56.3	16.1
(7)	Water-resources after water supply (MCM)	61.6	6.9	42.1	2.2	37.1	92.0	55.3	15.7
(8)	Water Balance in 2035 (MCM) (7)-(4)	15.8	-17.9	-41.4	-6.3	19.7	85.4	46.9	10.2
(9)	Water Saving (MCM)	5.1	2.8	9.3	1.4	1.9	0.7	0.9	0.6
(10)	Waste Water Re-use (MCM)	13.8	25.5	6.2	1.5	5.1	0.8	1.4	0.0
(11)	Return Flow (MCM)	18.3	9.9	33.4	3.4	7.0	2.7	3.4	2.2
(12)	Water Balance (MCM) (8)+(9)+(10)+(11)	53.0	20.2	7.5	0.0	33.7	89.6	52.6	13.0
(13)	Change of cultivation area (ha) in 2035	0	0	0	-255	0	0	0	0
(14)	Change of irrigation water (MCM) in 2035	0.0	0.0	0.0	-3.9	0.0	0.0	0.0	0.0

No	Items	Governorate				Total
		Ahad Rifaydah	Zahran Aljanub	Balqarn	Almajar dah	
(1)	Planted Area in 2007 (ha)	1,441	539	2,303	741	21,054
(2)	Planted Area in 2035 (ha)	1400	530	2,303	741	20,759
(3)	Agricultural Water Demand in 2007 (MCM)	18.4	6.8	29.4	9.4	268.4
(4)	Agricultural Water Demand in 2035 (MCM)	16.7	6.8	29.4	9.4	262.8
(5)	Water Supply Demand (MCM)	1.7	0.4	0.2	0.8	20.4
(6)	Water-resources Potential (MCM)	5.6	5.4	18.1	21.2	380.5

No	Items	Governorate				Total
		Ahad Rifayah	Zahran Aljanub	Balqam	Almajar dah	
(7)	Water-resources after water supply (MCM)	3.9	5.0	17.9	20.4	360.1
(8)	Water Balance in 2035 (MCM) (7)-(4)	-12.7	-1.8	-11.5	11.0	97.3
(9)	Water Saving (MCM)	2.0	0.7	3.3	1.0	29.8
(10)	Waste Water Re-use (MCM)	4.0	1.3	1.6	0.9	62.1
(11)	Return Flow (MCM)	6.7	2.7	11.7	3.8	105.1
(12)	Water Balance (MCM) (8)+(9)+(10)+(11)	0.0	3.0	5.1	16.7	294.3
(13)	Change of cultivation area (ha) in 2035	-40	0	0	0	-295
(14)	Change of irrigation water (MCM) in 2035	-1.7	0.0	0.0	0.0	-5.6

[Note] (9): Development of Modern irrigation system, (10): Waste water re-use (Data source: By ITAL CONSULT)

(11): Return flow (Irrigation losses) = Demand*(1-1/1.67)=Demand*0.4

<Jazan 州>

殆どのガバナレートにおいて水不足が発生し、水収支が 12 億 m³ のマイナスとなる。計画目標年の 2035 年までに節水灌漑の導入および下水処理水を利用することで新たに確保できる水資源量は約 44MCM となるが、これは野菜栽培に換算すると約 6,200ha に過ぎない。

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)

No	Items	Governorate							
		Jizan	Sabya	Abu Arish	Samtah	Alharth	Damad	Arrayth	Baysh
(1)	Planted Area in 2007 (ha)	3,589	22,785	9,395	28,175	8,452	3,797	5,839	584
(2)	Planted Area in 2035 (ha)	902	5,726	2,361	7,080	2,124	954	1,468	147
(3)	Agricultural Water Demand in 2007 (MCM)	47.5	301.3	124.3	372.6	111.8	50.2	77.2	7.7
(4)	Agricultural Water Demand in 2035 (MCM)	47.5	77.7	27.8	11.9	0.3	18.2	48.0	7.7
(5)	Water Supply Demand (MCM)	28.0	15.6	11.4	9.1	4.8	3.2	1.3	5.9
(6)	Water-resources Potential (MCM)	61.2	50.9	21.9	6.4	2.9	10.9	28.6	25.5
(7)	Water-resources after water supply (MCM)	33.2	35.3	10.5	-2.7	-1.9	7.7	27.3	19.6
(8)	Water Balance in 2035 (MCM) (7)-(4)	-14.2	-42.3	-17.3	-14.6	-2.3	-10.5	-20.7	11.9
(9)	Water Saving (MCM)	0.9	5.7	2.4	7.1	2.1	1.0	1.5	0.1
(10)	Waste Water Re-use (MCM)	3.5	5.5	3.8	2.7	0.0	2.3	0.0	0.6
(11)	Return Flow (MCM)	19.0	31.1	11.1	4.8	0.1	7.3	19.2	3.1
(12)	Water Balance (MCM) (8)+(9)+(10)+(11)	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.7
(13)	Change of cultivation area (ha) in 2035	-2,687	-17,058	-7,034	-21,094	-6,328	-2,843	-4,372	-437
(14)	Change of irrigation water (MCM) in 2035	0.0	-223.7	-96.5	-360.7	-111.4	-32.1	-29.2	0.0

No	Items	Governorate						Total
		Farasan	Addair	Ahad Almusar ihah	Alidabi	Alaridah	Addarb	
		718	406	22,540	812	4,290	2,176	113,558
(2)	Planted Area in 2035 (ha)	180	102	5665	204	1,078	547	28,539
(3)	Agricultural Water Demand in 2007 (MCM)	9.5	5.4	298.1	10.7	56.7	28.8	1501.9
(4)	Agricultural Water Demand in 2035 (MCM)	9.5	5.4	28.4	10.7	31.2	25.1	349.3
(5)	Water Supply Demand (MCM)	0.0	4.9	9.0	5.3	6.2	2.3	106.9
(6)	Water-resources Potential (MCM)		26.9	19.1	28.4	23.8	16.4	322.9
(7)	Water-resources after water supply (MCM)		22.0	10.1	23.1	17.6	14.1	216.0
(8)	Water Balance in 2035 (MCM) (7)-(4)		16.6	-18.2	12.3	-13.6	-11.0	-123.8
(9)	Water Saving (MCM)		0.1	5.7	0.2	1.1	0.5	24.0
(10)	Waste Water Re-use (MCM)		0.4	1.2	0.0	0.0	0.4	20.3
(11)	Return Flow (MCM)		2.1	11.3	4.3	12.5	10.0	135.9
(12)	Water Balance (MCM) (8)+(9)+(10)+(11)		19.2	0.0	16.8	0.0	0.0	60.7
(13)	Change of cultivation area (ha) in 2035		-304	-16,875	-608	-3,212	-1,629	-84,481
(14)	Change of irrigation water (MCM) in 2035		0.0	-269.7	0.0	-25.6	-3.7	-1152.6

[Note] (9): Development of Modern irrigation system, (10): Waste water re-use (Data source: By ITAL CONSULT)

(11): Return flow (Irrigation losses) = Demand*(1-1/1.67)=Demand*0.4

以上、3州の検討結果から、Al Baha州、Asir州については、2007年とほぼ同程度の作付が可能となるものの、Jazan州については、農業用水の需要が大きく、水資源不足は明らかである。今後の対策としては、再生可能水資源ポテンシャルに見合うまで作付面積を減少させるしかなく、下記の農業施策を提案する。

- ◆ 野菜栽培は生鮮野菜自給の観点から振興させるものとし2007年作付面積を計画目標年の2035年に増加させる。
- ◆ 果樹についてはMOAの熱帯果樹試験場”Jazan Agriculture Research Center”がJazan州にあること、また今後もマンゴを中心とした果樹は域内での消費が望めることから削減は行わず2007年レベルを維持していくものとする。
- ◆ Decision No.335に従って消費水量が多い飼料作物の作付は行わない。
- ◆ 穀類、飼料作物の作付削減により生み出された水資源量は優先的に野菜と果樹栽培に配分し残りはJazan州の代表的作物であるソルガム栽培に割り振る計画とする。

上記施策を実施した場合の作付面積と需要量は、以下の通りとなり、果樹は2007年水準維持、野菜は2007年の倍増という将来計画での作付面積が確保できる。

表 C.4-8 Jazan州における削減計画(2035年)

作物	現状(2007)		計画目標年(2035)		現状との比較
	作付面積(ha)	需要量(MCM)	作付面積(ha)	需要量(MCM)	
穀類	92,200	1,030	15,900	190	93%削減
飼料作物	12,200	340	0	0	中止
果樹	5,500	110	5,500	110	2007年の維持
野菜	3,600	30	7,100	50	2007年の倍増
計	113,600	1,510	28,500	350	平均75%削減

4.2.2 今後の農業計画への提案

上記の作付転換の方針、削減計画案等を基に、各州における農業計画への提案を整理すると、以下の通りとなる。

<Al Baha州>

Al Baha州は1980年代前半までは恵まれた気候を利用して伝統的な農法で小規模な小麦栽培が行われていたが、平坦地が多いAr Riyadu州、Al Qasim州などで化石水によるスケールメリットを生かした大規模機械農業が発展したことにより、Al Baha州のように単位面積当たりの生産コストが高い中山間地での穀類栽培は衰退を余儀なくされた。その結果として現在は農地面積の70%は果樹に転換されている。

Al Baha州の場合、2007年レベルの作付面積を賄う再生可能水資源は確保されていることから、今後とも高地という立地条件を生かした生鮮野菜と果樹を中心とした農業を展開し発展させていくことが可能である。

<Asir州>

Asir州は、Abhaを中心とした中山間地農業とBishaを中心とした平地オアシス農業に大別される。

Abha周辺は水資源に恵まれ路地トマトを中心とした高冷地野菜、葡萄を中心とした果樹の栽培が盛んに行われており、野菜と果樹の消費は人口増加に伴い増えることが予想される。今後も野菜および果樹を中心とした農業は継続していくことが可能と思われる。

北部に位置するBisha付近は、水資源は豊富とはいはず、今後においては作付変換を行い、節水かんがいと下水の再利用等を行っていく必要がある。

また、Abhaには有機農法を実践している熱心な農家があり、市場で食の安全から有機農法栽培による野菜は人気が出てきていることから、これら農家を中心として有機農法を普及させて他州との差別化を図り、Asir州の農業を振興させていく方策が考えられる。

<Jazan 州>

Jazan 州では、2035 年を目標とした作付面積は、果樹、野菜については、2007 年の規模の作付が確保できるものの、飼料作物の作付を中止し穀類についても 93% の削減が必要である。

Jazan 州には、FAO が技術支援をしている”Jazan Agriculture Research Center”があり、この機関との連携により、州の気候、特性に合った果樹と野菜に特化した近郊農業を振興するべきである。また、穀類については、メイズ、ミレット、ゴマなどへの換金性の高い作物に特化した集約的農業を指向していくべきである。

一方、農業を取り巻く現状としては、農業経営者の高齢化と後継者が育っていないと言う課題がある。「サ」国の農業経営は、経営者としてのサウジ人と労働者としての外国人労働者から成り立っており、MOA も積極的な農業への助言、指導を実施していない点に大きな問題がある。

上記の課題と水資源が不足している現状を考慮すると、Jazan 州における農業は今後、衰退を余儀なくされることも想定される。この場合には、農業人口の受け皿となる他の産業の導入が必要である。幸い Jazan 州では、州都 Jazan の北西 60km の区域 Sabya 付近で Jazan 経済都市 (Jazan Economic City) プロジェクトが進展しており、このプロジェクトの労働人口は、約 30 万人である。Jazan 州の農業従事者は、約 3 万人であり、このプロジェクトによる受け入れは十分可能である。

Jazan 州については、水資源の確保、農業ならびに農業従事者の上述した課題がクリアできない場合は、産業構造を変換させ、余剰となる農業従事者を Jazan 経済都市の労働人口に振り向けるべきである。なお、産業構造変換施策を実施する場合は、小規模農家の生計維持を考慮した政策的配慮が必要である。

Jazan 州における農業用水の地下水揚水量は約 740 (MCM/年) であり、地下水涵養量 402 (MCM/年) の約 2 倍である。その結果、将来において地下水位が低下することが予測される。図 C. 4-3 に、現在の揚水を継続した場合の地下水位分布の将来予測結果を示す。同図に示す様に、2030 年および 2060 年において、Jazan 州の中央部～南部地域の広範囲にかけて、地下水位は海水位以下となることが予測される。その結果、大規模な海水侵入が発生する。

一方、地下水揚水量を削減した場合の水位回復状況を図 C. 4-4 に示す。同図に示すように、揚水量を 70% 削減すれば地下水位の低下はほぼ停止し、90% 削減すれば地下水位は上昇に転ずる。

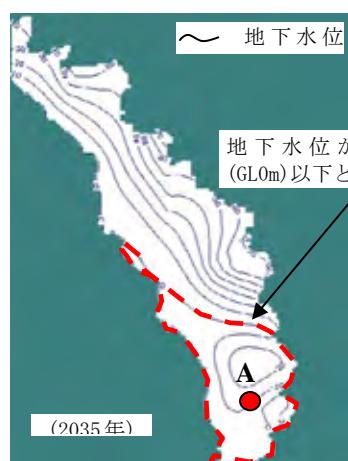


図 C. 4-3 現在の農業用水使用を継続した場合の地下水位低下の将来予測

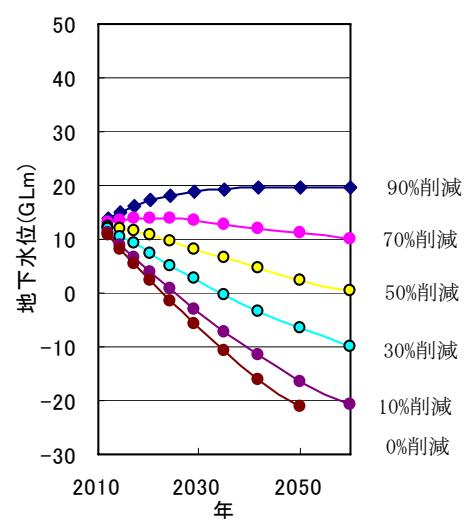
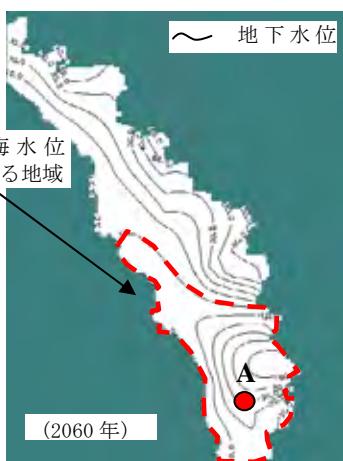


図 C. 4-4 農業用水量の削減量と地下水位の回復状況 (A 地点)

第5章 運営維持管理計画

5.1 総合水管理システム

(1) 管理の範囲・対象施設

総合水管理システムの管理の対象施設は、以下の通りとする。

- ◆ A1 Baha 州、Asir 州、Jazan 州の本マスタープラン(M/P)で新たに建設する施設並びに既存の再生可能水開発施設
- ◆ 主要施設を連結するパイプライン施設、及びポンプ場

(2) 管理に関係する組織

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、生活用水のための井戸を管理する MOWE 地方事務所のみである。

本 M/P では、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、水電力省(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。広域水供給システムの管理に関わる関係組織は後述する水行政組織の改善案として、図 C. 5-15 に示してある。各組織の対象機関への期待される行動案は、下表に示すとおりである。なお、管理組織の実施に向けての検討の各段階で情報を精査し、関係機関が果たす役割、機能についての調整が必要となる。

表 C. 5-1 対象組織とマンデート

組織	マンデート
水調整委員会 (Water Authority)	MOWE と MOA に係る事項のように複数の省庁間に関連する水利用、管理に関する事項に関する調整を行う。
水電力省(MOWE)	対象地域の水資源の開発、管理及び保全を総括する。そのために必要となる調査、計画、事業実施、モニタリング等を行う。 再生可能水生産公社(RWPC)と協議し、再生可能水の都市用水セクターへの配分を決定する。 MOA 及び RWPC と協議し、再生可能水の農業セクターへの配分を決定する。 地方水事務所は国家水公社(NWC)が対象としない地域の都市用水の供給及び下水処理と処理水再利用のための供給を行う。 海水淡水化公社(SWCC)及び再生可能水生産公社(RWPC)の組織、業務を監督、指導する。 MOA と共同して農業用水セクターに関する農業用水の適正な使用を指導する
農業省(MOA)	対象地域の農業計画を管理する。MOA は、農業セクター及び RWPC と共同して、必要となる農業用水を農業計画に基づいて算定する。 農家の水利用のための組織化を促進する。 節水のための営農指導及び灌漑施設の改良・更新を促進する。 MOWE と共同して農業用水セクターに関する農業用水の適正な使用を指導する
再生可能水生産公社 (RWPC)	再生可能水資源を開発、利用し、MOWE の決定した各セクターへの再生可能水の配分計画に基づき、供給計画を策定し、それを実施する。 管理する貯水池、井戸のモニタリングデータに基づき再生可能水の利用可能量等を把握する。 MOWE、MOA の指導を得て関係機関等と再生可能水の利用、供給に関する協議／協力依頼等を行う。 MOWE と SWCC の海水淡水化水の生産量及び NWC への再生可能水の供給量の調整協議を行う。 MOWE、MOA に農業用水セクターの NWC と再生可能水の供給と供給量の調整協議を行う。 各水セクターに中立、公平な立場で再生可能水の配水、供給を行う。
農業用水セクター (AS)	MOA の指導のもとで、営農計画及び水利用計画を策定する。 営農計画及び水利用計画に基づいて MOWE が決定した再生可能水配分目標に対し、MOA の指導のもとで農業用水セクター内の需要管理を行う。 農業セクター内で一定の地域ごとに利水関係者の組織化を促進する。
淡水化公社(SWCC)	NWC、MOWE と海水淡水化水の安定供給に対する対策を行う。
国家水公社(NWC)	利水者に対して、都市用水の安定供給を行う。

(3) 水供給管理の基本

水供給管理の基本を以下の通りとする。

- ◆ 再生可能水、海水淡水化水、下水処理水、化石地下水といった異なる水資源を組み合わせて、効率的、経済的な管理を行う。
- ◆ 通常時は、州毎に想定される水資源をそれぞれの州が管理することを原則とする。
- ◆ 降雨の地域的偏在、年変動、季節変動により、特定の地域の水需給が逼迫するなど異常な渇水が生じるばあいには、州を越えて水融通を実施する。

(4) 水供給管理のための管理所の配置計画

上述の管理を実施するために、各州に1箇所ずつ管理所を、さらに各州の管理状況を総括する総合管理所を1箇所設置する。また、主要施設には操作管理所を設置する。管理所の設置位置は、管理所の業務が円滑に遂行できるよう、次の点に留意して決定する。

利水管理上重要な施設との併設

開発量が大きいダム、井戸群は、利水管理上の重要施設と位置づけられ、有人管理とする必要がある。これらの施設に管理所を併設することで、効率的な管理を行う。

水管理および施設の維持管理を効率的に行える位置

広域水供給システムは広範囲をカバーするため施設の配置状況、交通の利便性等を考慮し、水管理および施設の維持管理を効率的に行える位置とする。

社会環境性

利水管理上の連絡・調整が密に、行えるよう、水管理に関連する機関、ユーザー等との協議、打合せが容易な地点、利水管理者の生活環境を具備した地点とする。

経済性、安全性

土地の取得が容易で、地質地形条件が良く、災害にも強い場所とする。上述の管理を実施するための水資源管理のイメージ図を以下に示す。Al Baha 州、Asir 州に「RWPC 水管理事務所」を配置し、これらを統括する「RWPC 総合管理事務所」を Jazan 州に配置するものとする。Jazan 州の水管理所は、統合管理事務所を兼ねるものとする。

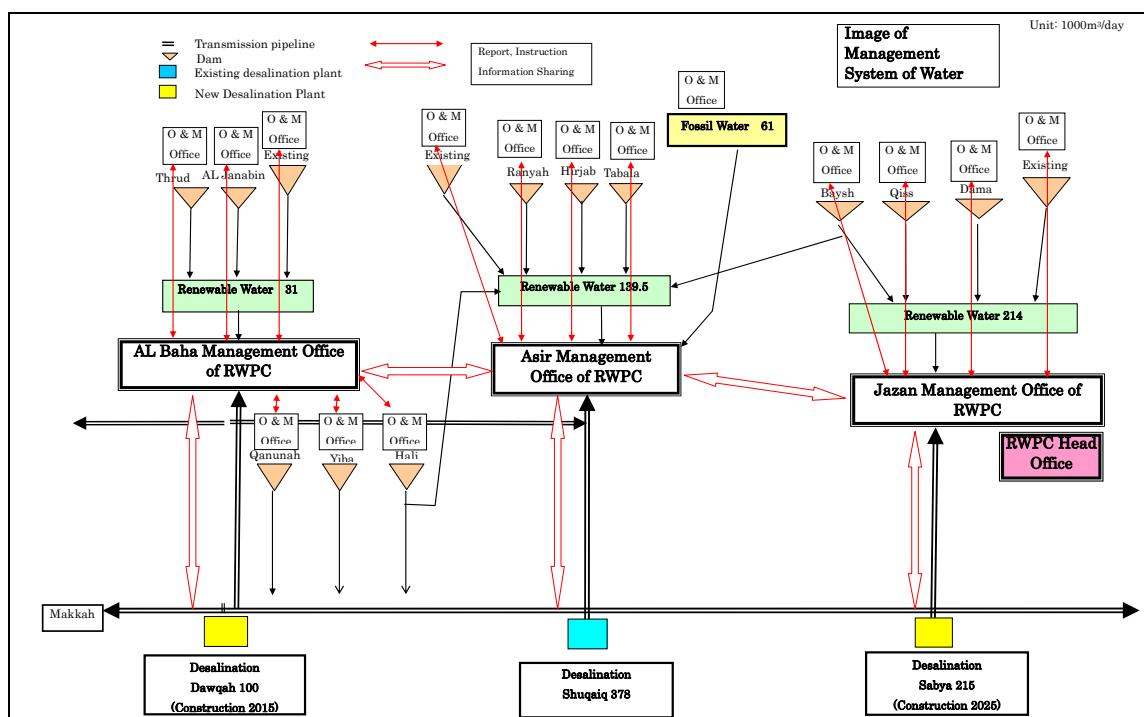


図 C. 5-1 水資源管理所の配置イメージ図

5.2 ダムによる地下水涵養

5.2.1 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

表 C.5-2 に示したように、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。

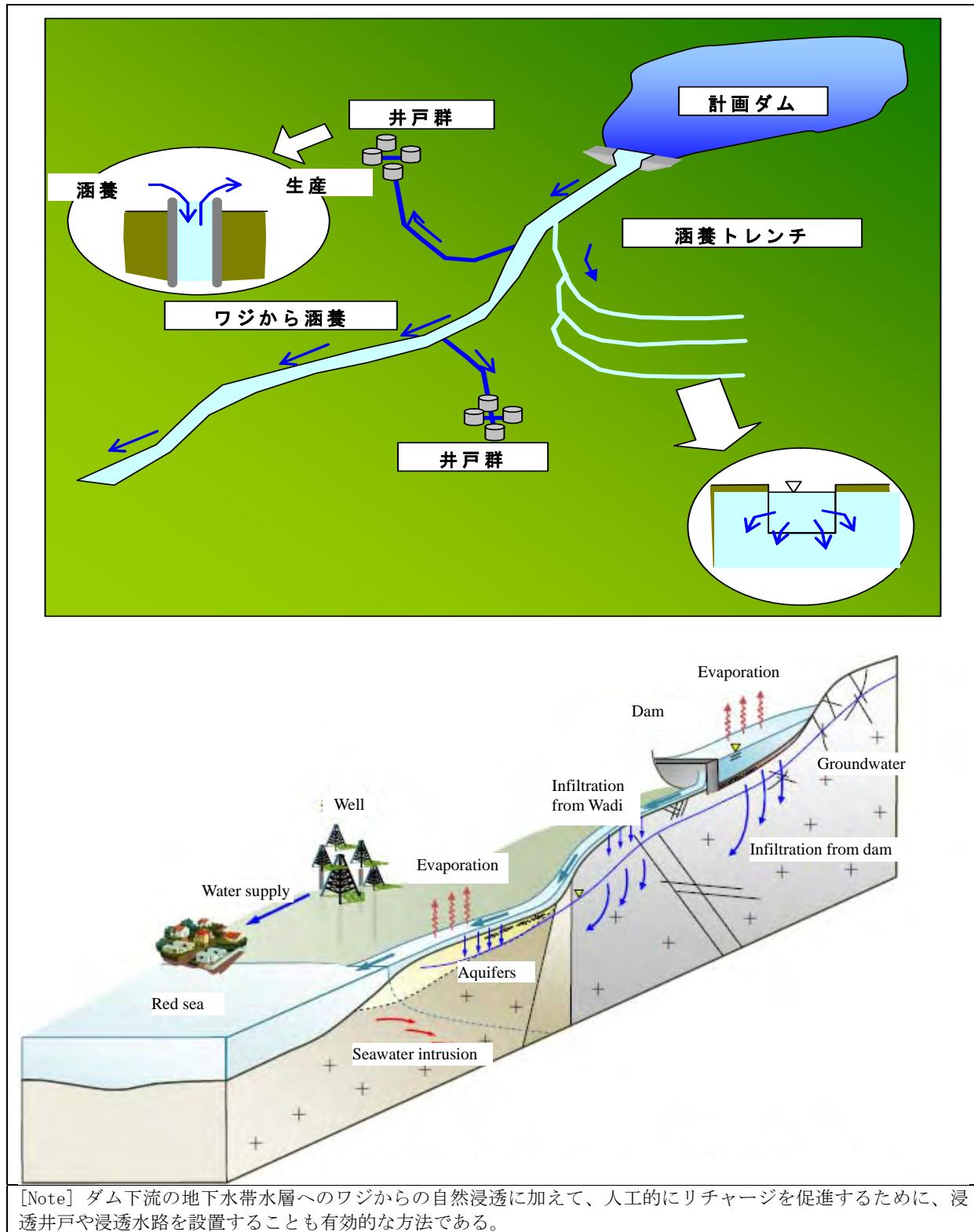


図 C.5-2 ダムと下流地下帯水層との連携によるワジ表流水の開発

(1) 開発流量の検討手順

現時点では、各ダムの下流には有望な帶水層があることは確認されている。その水理地質条件の詳細については不明であるが、前項のダムの開発量計算で用いたモデルを使って、ダムと下流地下帶水層との連携による水資源開発の有効性を検討する。

その指標としては、貯水容量（ダムの有効容量の倍数）、開発流量・開発比率とし、各ダムについて検討している。前項の計算条件と異なる条件は以下の通りである。

- ◆ 貯水容量は、ダムの容量と地下帶水層の貯水容量（空隙量）の合計とする。
- ◆ 有効容量を超える流量がある場合、この流量は無効流量となるため、開発対象から除外する。
- ◆ 貯水池湖面からの蒸発量および帶水層への浸透ロス（蒸発によるロス等）を日蒸発量 5mm 相当と仮定した。
- ◆ 計画開発流量としては、ダムの開発量の検討(2. 1. 2)と同様に、30 年間不足なく開発できた場合の 97%を開発できる流量とした。

(2) 開発流量の検討結果

表 C. 5-2 は、合計容量 ($V_3 = \text{ダム貯水池容量} + \text{下流地下帶水層容量}$) と開発水量との関係を求めたものである。流況の悪い Aradah ダムや Ranyah ダムでは帶水層との連携による開発量増は見られないが、流況の良い King Fahd ダム、Baysh ダム、Hali ダム等では、開発量が大きく増加することが分かる。

これらの予備的な計算は、1) 帯水層の初期条件として貯流量をゼロとしていること、2) 帯水層への浸透ロスを貯水池の湖面蒸発相当としていること、3) 人工的にリチャージを促進するための浸透井戸や浸透水路が考慮されていないこと等の理由により、かなり安全サイドの結果となっている。いずれにしても、ダムと下流帶水層との連携によるワジの水資源開発は、効果的であることが分かったので、次段階で詳細な検討を行う。

表 C. 5-2 下流地下帶水層との連携した主要ダムの開発水量

ダム名	V1	V2	V1/V2	V3=V1		V3=2xV1		V3=3xV1		V3=5xV1		V3=10xV1	
	貯水容量 (MCM)	年平均流量 (MCM/y)	比貯水 容量	Qdv (MCM/y)	α								
Aradah	68.0	15.2	4.5	6.7	44%	6.7	44%	6.7	44%	6.7	44%	6.7	44%
King Fahd	325.0	69.1	4.7	55.3	80%	57.3	83%	57.3	83%	57.3	83%	57.3	83%
Tabalah	68.4	12.3	5.6	3.6	29%	4.2	34%	4.7	38%	4.7	38%	4.7	38%
Ranyah	219.8	99.6	2.2	32.9	33%	32.9	33%	32.9	33%	32.9	33%	32.9	33%
Hirjab	4.6	16.8	0.3	3.4	20%	5.9	35%	7.4	44%	8.4	50%	10.9	65%
Jizan	51.0	78.9	0.6	23.7	30%	24.5	31%	25.4	32%	26.8	34%	30.0	38%
Baysh	193.6	104.6	1.9	73.2	70%	92.7	89%	95.2	91%	95.2	91%	95.2	91%
Damad	55.5	61.5	0.9	24.0	39%	24.6	40%	25.2	41%	27.1	44%	30.8	50%
Hali	249.9	122.3	2.0	97.8	80%	106.4	87%	106.4	87%	106.4	87%	106.4	87%
Qanunah	79.2	21.3	3.7	6.4	30%	11.7	55%	13.2	62%	13.8	65%	14.9	70%
Yiba	80.9	81.3	1.0	24.4	30%	25.2	31%	26.8	33%	28.5	35%	34.1	42%
合計	1,396	683	2.0	351	51%	392	57%	401	59%	408	60%	424	62%

[Note] Qdv : 開発流量 α : 開発比率 (開発流量/年平均流量) 比貯水容量=総貯水容量/年平均流量

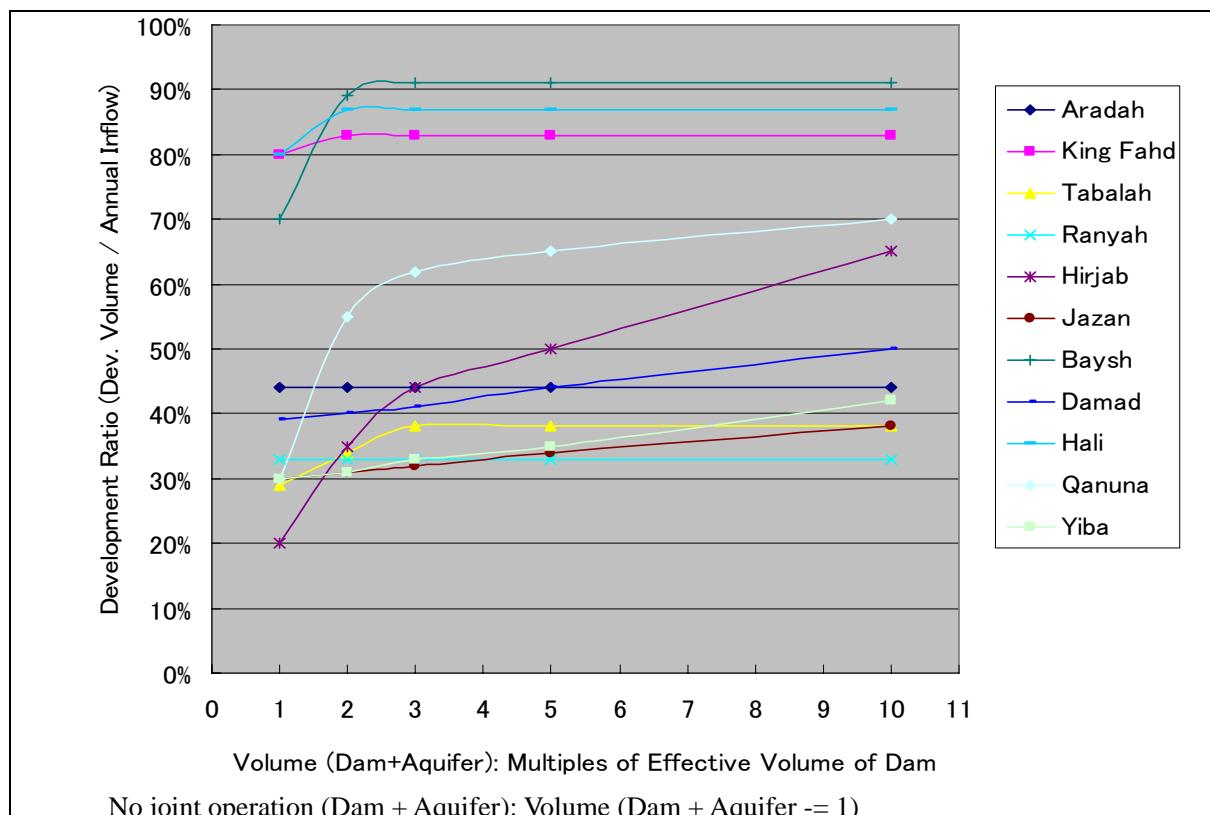


図 C.5-3 下流地下帯水層と連携した主要ダムの開発水量の変化

5.2.2 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、既設ダム、建設中のダムをリチャージダムとして、運用することが必要となる。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ことができる。

ワジ河床からの地下水涵養には以下の特性があり、リチャージダム計画に当たってはこれを考慮する必要がある。

ワジ流量と流下距離

地下水涵養量は、ワジ流量規模に依存する(図 C.5-4 参照)。大規模な洪水の場合は地下水利用域より更に下流域まで到達すると予想される。紅海側地域では大規模洪水は紅海に流出する。これらの流量は地下水利用の面では無効流量となる。

放流間隔

河道浸透の一部分は地下水涵養とならない。ワジ河床-地下水水面間の土壤が乾燥状態であれば、河床から浸透した地下水は土壤に吸着され地下水面上に到達しない(図 C.5-5 参照)。逆に土壤が湿润状態にあれば、浸透した地下水は容易に地下水面上に到達する。土壤の湿润程度は放流間隔に左右される。従って、放流間隔が短いほど土壤は湿润化し地下水浸透量は大きい。

地下水涵養量を増やすためには地下水涵養ダムによって過大な無効流出を抑制し、また適度な放流を長期間維持する必要がある。

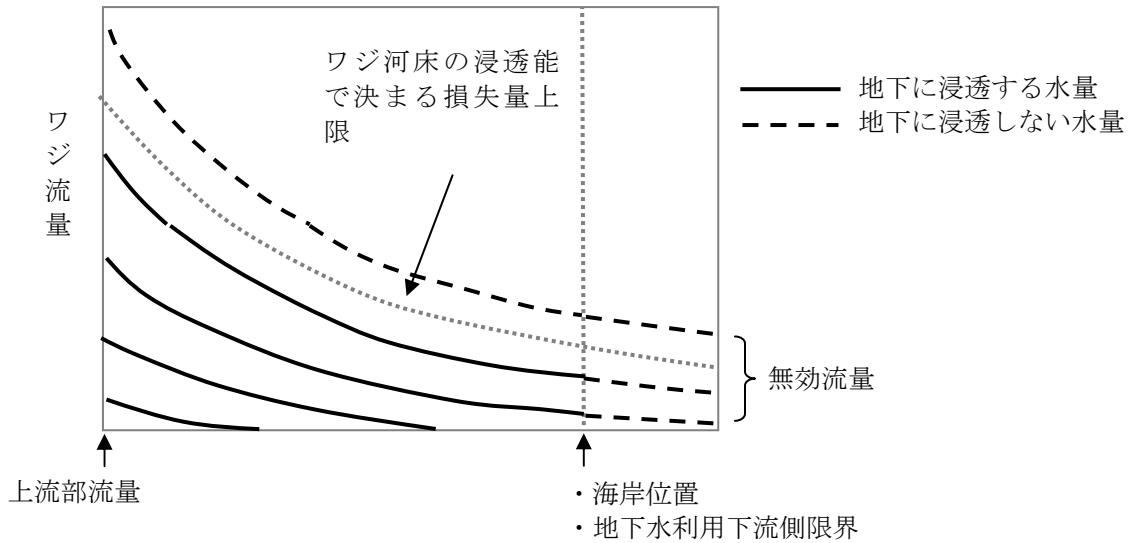


図 C.5-4 ワジ流量と流下距離との関係

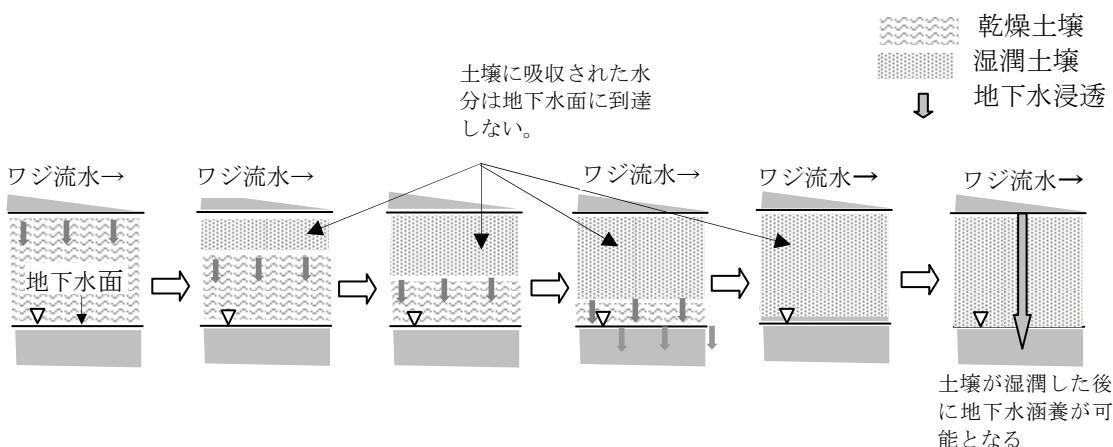


図 C.5-5 土壤水分と地下水浸透

適切な放流量

紅海側では、過大なワジ流量は沖積平野を流下し紅海に流出し無効流出となるため、沖積平野の規模を考慮し涵養ダム放流量を決定する必要がある。調査地域の紅海側の沖積平野の規模を表C.5-3示す。一方、内陸側では、ダムから地下水利用の対象域までの距離を考慮し放流量を決定する必要がある。

表 C.5-3 紅海側沖積平野の概要

地域	平野の幅(山地から海岸までの距離)	平野部のワジ河床平均勾配
北部～中部 (Makkah、Asir 州)	30-40km	0.003-0.005
南部 (Jazan 州)	10-50km	0.001-0.0045

適切な放流量を設定するに当たって、放流量と到達距離について把握する必要がある。調査地域のワジ流量一到達距離に関して以下の関係式が提案されている。

$$V_x = V_o \times (1-a)^x \quad (\text{Wheater, 1993 年})$$

$$a=118.8 \times (V_o) - 0.71$$

V_o : 涵養ダム位置の流量($\text{m}^3/\text{日}$)

V_x : 涵養ダムから $X(\text{km})$ 下流の位置における流量($\text{m}^3/\text{日}$)

上の関係式から、放流量の流下距離とワジ浸透量(%)との関係が図 C.5-6のごとく示される。

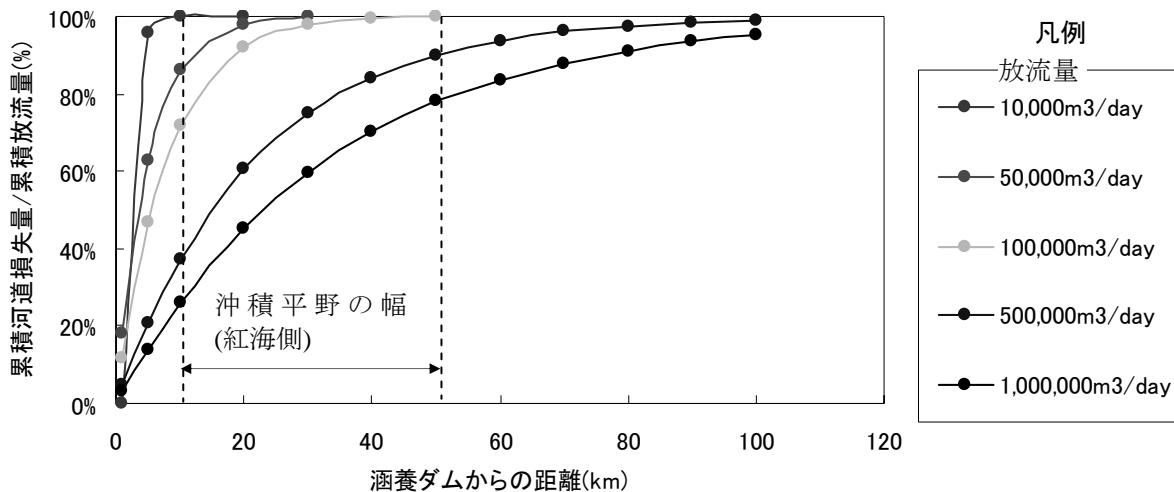


図 C.5-6 ワジ河道浸透率(%)と到達距離の例 (Wheater 式)

図 C.5-6 から、例えば紅海側流域ではダムからの放流量が 500,000m³/日程度であれば、沖積平野内で放流量のほぼ全量が河道浸透となる。ただし、その流量は Wheater 式のパラメーターにより変化する。

放流間隔

河道浸透分を効果的に地下水涵養に転化するためには、放流間隔を調整する必要がある。調査地域におけるワジ浸透量と地下水涵養量に対して以下の関係式が提案されている。

地下水涵養高(m)=0.0567+0.556×TL^{-0.099}×ANTEC (A. U. Sorman and M. J. Abdulrazzak, 1993)

TL : 河道浸透(×106m³/日)

ANTEC : 放流間隔(日)に関するパラメーター。ANTEC=1-0.9T

T : 前回の放流から今回の放流までの経過日数(日)

図 C.5-7 に放流間隔と地下水涵養高との関係を示す。同図に示すように、放流間隔が短いほど地下水涵養率は高い。Tabalah 流域を対象とした既往調査結果によると、自然状態では河道浸透の 75%が地下水涵養となるが、流水が常時ある場合は 100%地下水涵養になり得ると指摘されている。

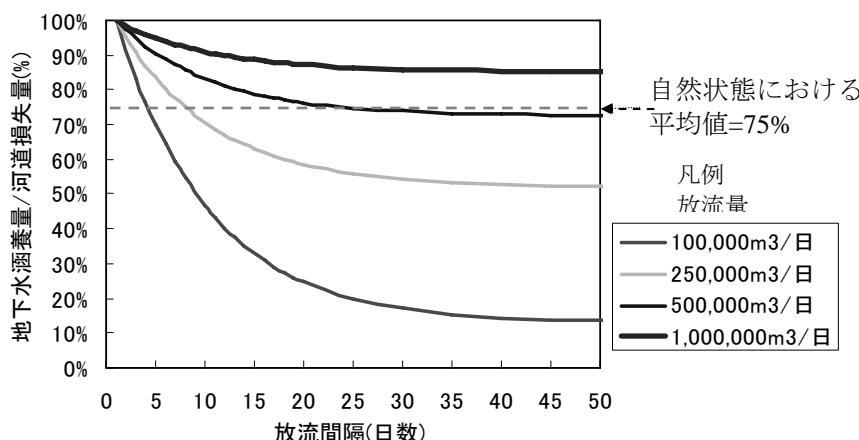


図 C.5-7 放流間隔と地下水涵養効率との関係

5.2.3 ワジにおける地下水涵養

本調査における水收支解析の結果から、自然状態におけるワジ浸透率と無効放流は表 C.5-4 に示す通りである。調査域全体として、自然状態におけるワジ浸透率は 67%であり、涵養ダムによって残り 33%の地下水涵養率を高める余地がある。また、地域別に見た場合、Jazan 州を除けばワジ浸透率は 4%～22%である。一方、Jazan 州では自然状態におけるワジ浸透率は 85%であり、涵養ダムによっての紅海への無効流出 15%を低減する余地がある。

表 C.5-4 自然状態におけるワジの浸透と無効放流

流域		山地から沖積平野へのワジ流入量(MCM)	無効流量		ワジ浸透率(%)	無効放流率(%)
			紅海へのワジ流出量(MCM)	内陸流域へのワジ流出量(MCM)		
紅海側	Makkah/Asir	613	480	—	22%	78
	Jazan	299	44	—	85%	15
内陸側	Makkah/Asir/Jazan/Najran	281	—	271	4%	96
全 体		1193	795		67%	33

5.2.4 ダムによるワジ浸透量の増加

涵養ダムによるワジ浸透量の増大効果は、涵養ダムによる流況改善効果で決まる(図 C.5-8 参照)。代表的な既存ダムを選定し、流況改善によるワジ浸透量の增加分を算定した。

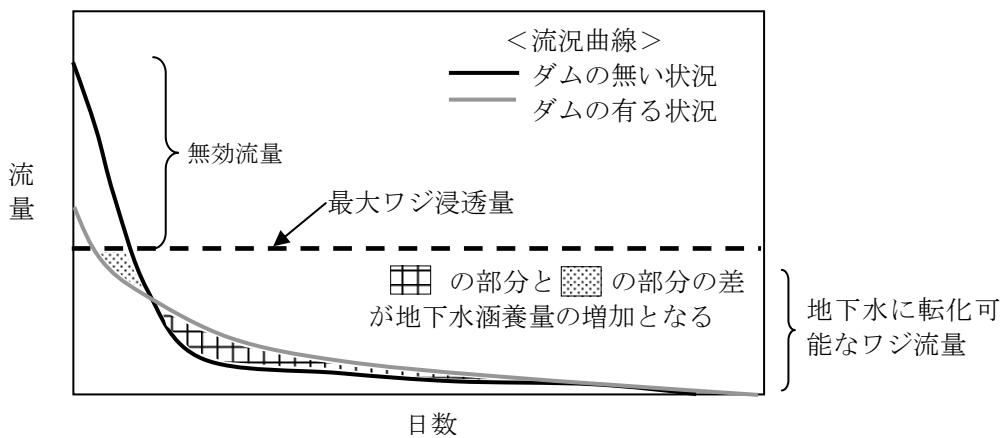


図 C.5-8 ダムによる流況改善とワジ浸透の増大

<算定方法>

ダム流況改善効果による浸透量の増大量を求めその結果を表 C.5-5 に示す。涵養ダムによる流況の改善によって、ワジ浸透量は 16-40%増加することが分かる。算定手順は以下のとおりである。

- ◆ 各ダム地点における日流量を SWAT で計算し、これをダム地点日流量($m^3/\text{日}$)とした。計算は 1960-2006 年の 46 年間にわたって実施した。
- ◆ ダム地点における流水が紅海に到達するまでに河道浸透可能な流量(紅海側流域)、または、ダム地点における流水が地下水利用域下端に到達するまでに河道浸透可能な流量(内陸側流域)を求め、これを最大ワジ浸透量($m^3/\text{日}$)とした。
- ◆ 一方、ダム地点における流水が紅海に到達した時点における流量(紅海側流域)、または、ダム地点における流量が地下水利用域下端に到達した時点における流量(内陸側流域)を、前掲の Wheater 式で算出し、これを最下端流量($m^3/\text{日}$)とした。
- ◆ ダム地点流量($m^3/\text{日}$)から最下端流量($m^3/\text{日}$)を差し引き、これをワジ浸透量($m^3/\text{日}$)とした。ただし、このワジ浸透量が最大ワジ浸透量($m^3/\text{日}$)より大きい場合は、最大ワジ浸透量をワジ浸透量とした。
- ◆ 上記の計算を、①「ダムが無い場合」、②「ダムが有る場合」の両者に対して、1960～2006 年の 46 年間にわたって日単位で行い河道涵養量の合計値(m^3)をそれぞれ求めた。

- ◆ 「ダムが有る場合」のワジ浸透量に関しては、ダムからの放流率を1%、2%、3%、4%、5%、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%に変化させ計算し、その中の最大値を「ダムがある場合」のワジ浸透量とした。
- ◆ 「ダムが無い場合」と「ダムが有る場合」における46年間の日河道涵養量の合計値(m^3)の差を取り、これを「ダムが無い場合」の合計値で除して河道涵養量の増大(%)を求めた。

表 C.5-5 ダムごとの最大ワジ浸透量の推定値

ダム名	ワジ幅(m)	河道浸透能 (mm/時)	最大ワジ浸透量			河道浸透 量の増大 (%)		
			紅海側流域	内陸側流域	最大ワジ浸透量 (1000m ³ /日)			
			海までの距 離(km)	地下水利用 域下端まで の距離(km)				
Turbah	100	50	(W)	(C)	(K1)	(K2)	W×C×(K1 or K2)	32%
			—	—	30	—	3,600	
			59	—	—	—	7,080	
			—	—	17	—	1,020	
			—	—	7	—	420	
			—	—	20	—	1,200	
			—	—	42	—	7,560	
			—	—	66	—	7,920	
			45	—	—	—	5,400	
			73	—	—	—	13,140	
			—	—	66	—	3,960	

ダムからの放流とワジ浸透については、次のフェーズにおいて数値モデルを使ったシミュレーションを実施することにより、さらに、詳細な検討を行う。

5.3 モニタリング計画

5.3.1 雨量観測

調査地域全体で115ヶ所の雨量観測所(MOWE所管：105観測所、PME所管：10観測所)がある。(第1章、図B.1-10 調査地域及びMOWE、PME所管の気象観測所、参照)雨量観測所の整備状況に関するコメントは、以下の通りである。

● 観測所ネットワーク

観測所の密度は、単純には、3,000km²から4,000km²に1雨量観測所である。雨量観測所の数としては、十分とは言い難いが、実際には紅海沿いに多く配置されている一方、調査地域東部の土漠・砂漠地区にはわずかの観測所しかない状況である。これは、雨量観測所の維持管理が容易な紅海沿いに多く、逆に維持管理が困難な土漠・砂漠地区に少ないためと考えられる。このことから、調査地域西部(紅海沿い)に較べ、東部は精度が悪い状況となっている。

● 観測データの収集

雨量観測所は、テレメータによる観測、送信も一部では、実施されているが、ほとんどは、普通雨量計による観測が基本であり、観測データをファックスにて送信しているのが現状である。一方では、観測人がいないと観測機器の盗難、破損等が多くなるとの情報があり、省力化、テレメータ化が進まない現状にある。

● 観測データの解析、水資源開発計画への利活用

MOWEにおける雨量観測所データは、現時点では、収集が主であり、これらに基づく解析や水資源開発計画への利活用はあまりなされてはいない。

以上から、雨量観測に関する整備計画、モニタリング計画の提案は、以下の通りとなる。

● 中央部のTaifからイエメン国境までのHijaz Asir高地及びその近傍は、降雨が多く、東部

の土漠・砂漠地区は逆に少ないという降雨特性がある。これらの特性を考慮すると、今後、Hijaz Asir 高地及びその近傍に雨量観測所を優先的に追加していく必要があると考えられる。また、Najran 州には3雨量観測所しかない上に全て、州の西端に集中していることから州の中央部や東部にも追加が必要と考えられる。

- 今後においては、保守、管理が比較定期容易な MOWE の出先事務所や管理施設（ダム、井戸群）においては、テレメータ化を進めることを提案する。
- 収集データを整理、解析することにより、雨量特性（地域分布、年間変動特性、量的特性）を把握すると共に、水利用、水資源開発計画に積極的に利用、活用していく。

5.3.2 ワジ水位流量観測

ワジにおける水位、流量観測は、2008 年に JICA 調査団によって設置された観測所（2009 年より MOWE の管理に移管）によって行うものとする。観測所の位置を以下に示す。

表 C.5-6 各ワジの水位、流量観測所の位置

項目	Wadi Hirjab	Wadi Tabalah	Wadi Habawnah
位置（経緯度）	42 50 02 E 19 19 59 N	42 13 47.7E 20 00 24.3N	43 53 45.76E 17 46 09.59N
所属州	Asir	Asir	Najran
ワジの幅	80m (monitoring site)	290 m (at Bridge)	84 m (at Bridge)
流域面積 (Km ²)	778 (at Dam Site)	1,900	4,930
近くの市町村	Samakh	Bisha	Habawnah
備考	Hirjab ダム下流	Tabalah ダム	

観測概要は、以下の通りであり、水位計により、継続的な水位変化を把握すると共に、流速計により、流速を観測するものである。

表 C.5-7 ワジ表流水の観測概要

観測項目	観測方法	観測機器、設備	備考
1. 水位計	自記水位計による記録	自記水位計	量水標は、ワジの規模等を考慮して準備
	量水標水位読みとり	量水標	
2. 流速計	流速計と浮子	流速計と浮子	Tabalah 観測所及び Habawnah 観測所では橋梁上より、流速計を用いて、また橋梁がない Hirjab 観測所では、ケーブル式流速計を用いて流速を測定する。

ヒルジャブダムサイトにおける流量観測方法は、橋梁地点がないことからプロペラ式による流速観測は不可能であり、ケーブルを張ってそのケーブルに流速計を吊して流速を測定するケーブル式流速計を設置した。

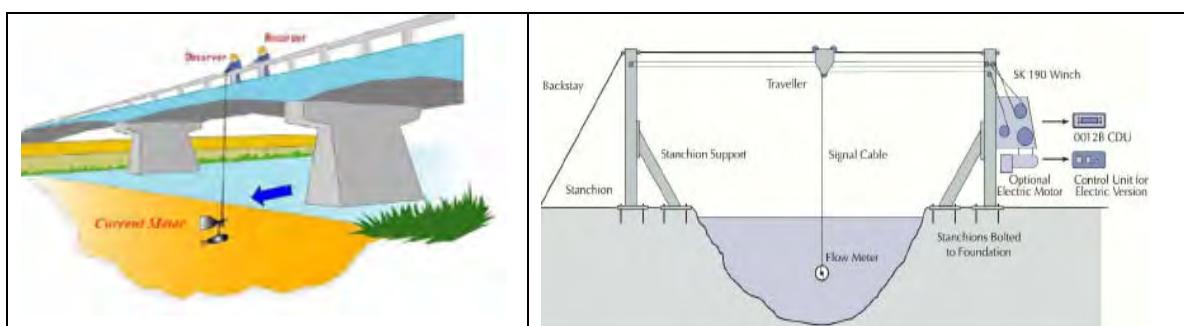


図 C.5-9 プロペラ式とケーブル式流速計設置状況

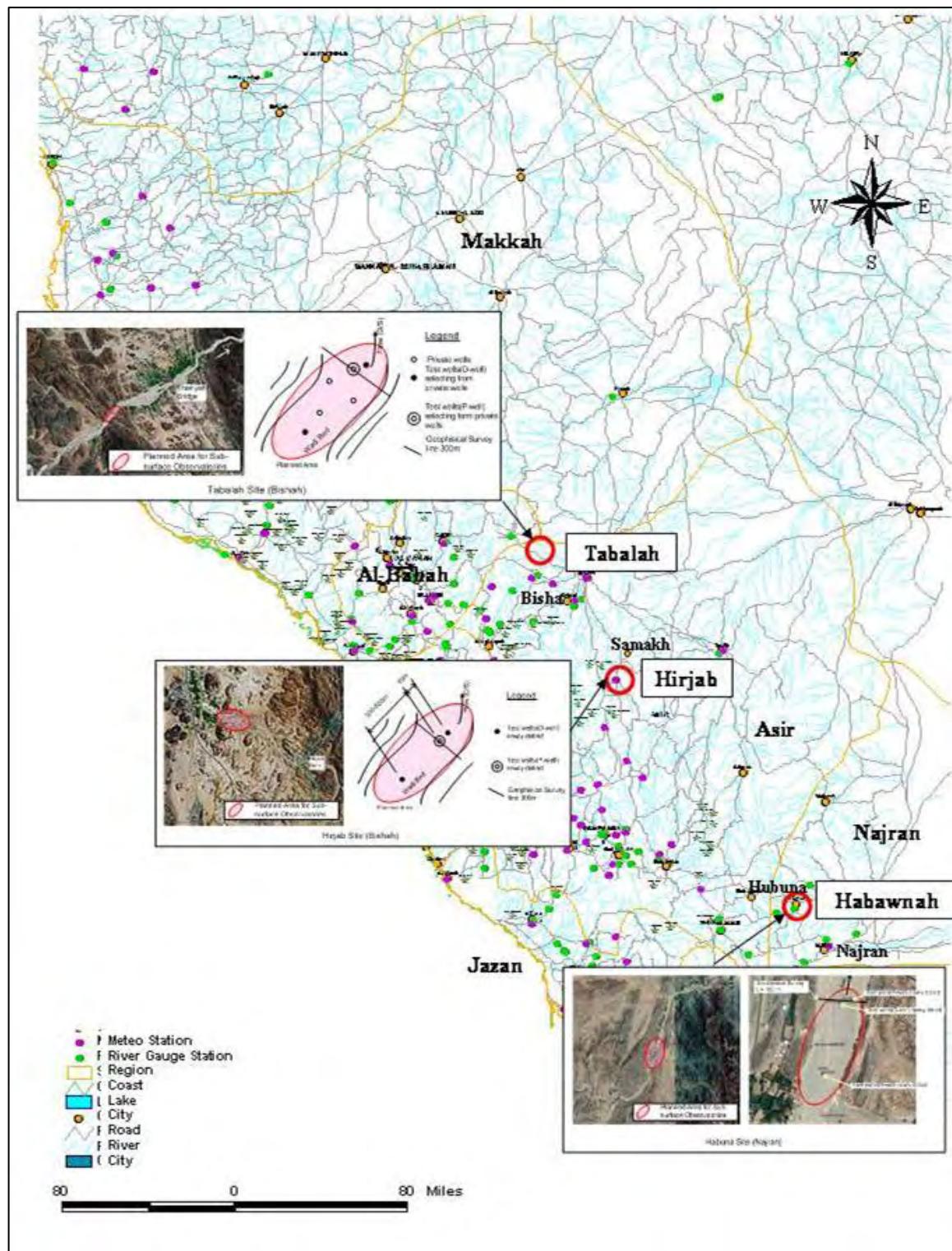


図 C.5-10 水位、流量モニタリングの位置

以上から、水位、流量のモニタリング計画の提案は、以下の通りとなる。

- 水位記録が重要であるため、自記記録水位計については、保守、管理を十分に行い、作動状況を確認しておく。
- 主要な洪水においては、流速の観測を地方水事務所(Bisha、Najran)で実施する。
- 収集データを蓄積し、整理、解析することにより、雨量と流量の関係を解析し、水利用、水資源開発計画に積極的に利用していく。

5.3.3 地下水位

対象流域では地下水位の低下が顕著であり、中でも、Jazan 州南部では、過剰揚水による地下水位の低下が懸念される。

地下水位の低下によって、揚水量の減少や井戸枯れが発生するだけでなく、海水侵入や深部帶水層の高塩分濃度地下水の上昇が発生する。この中で、とりわけ海水侵入は地下水利用に深刻な障害を与える。現在の状況での揚水が継続した場合、海水侵入はさらに内陸部へ向かって異動するものと推定される。(図 C.5-11 参照)

したがって、Jazan 州の平野部における持続的な地下水利用のためには海水侵入を抑制する必要がある。そのためには揚水量の削減が最も効果的である。

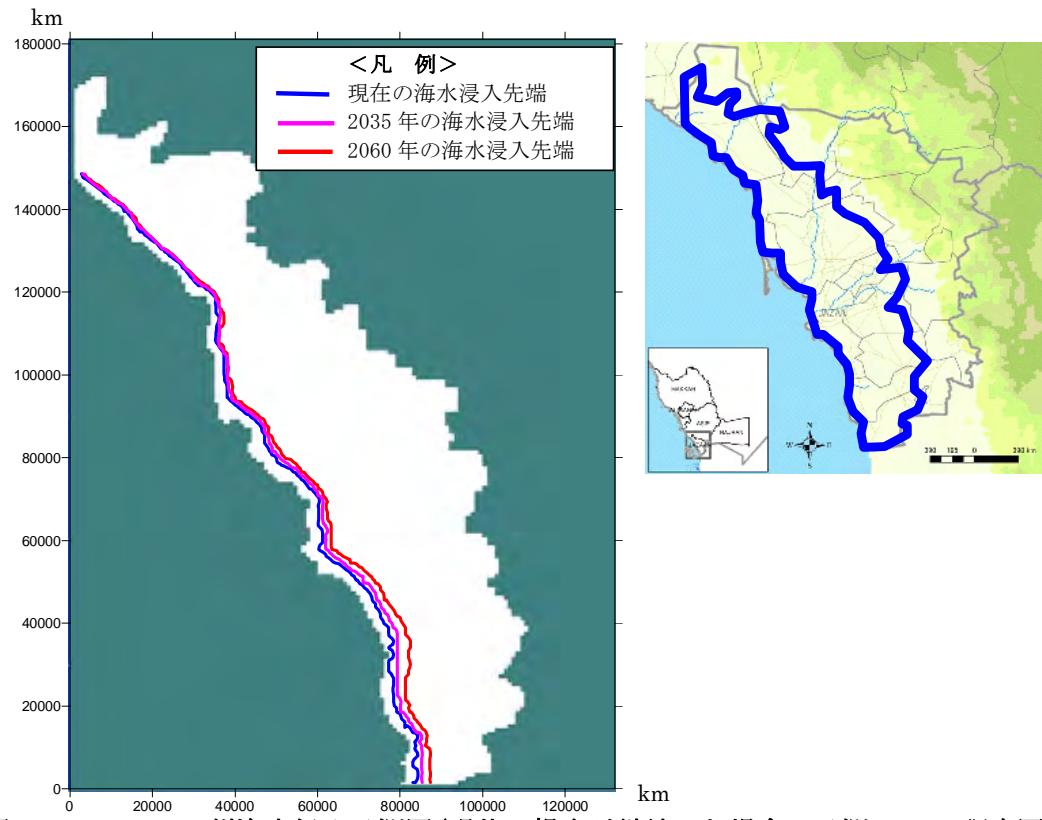


図 C.5-11 Jazan 州海水侵入予測図(現状の揚水が継続した場合の予測、JICA 調査団)

地下水の管理に関しては、以下の 2 点が重要である。

1) 地下水位を海水位以上とする

地下水位が海水位以下となれば海水の大規模な侵入が発生する。海水侵入域では塩害が発生し、帶水層の回復には長年月を要する。したがって、地下水位を海水位以上に保ち海水侵入を防ぐ。

2) 揚水量を削減する

過剰揚水は、州中部～南部に位置する Samatah、Ahad al Musarihah、Sabya、Jazan の 4 つのガバナレートで州全体の約 70% の揚水量を占める。これらの 4 ガバナレートにおいて揚水量を削減すべきである。

図 C.5-12 に示すように、調査団が実施したシミュレーション結果では、10%～50% の地下水の揚水削減により、Jazan 州の南部では地下水位 0m 以下となる地域がほとんどであるが、さらに削減を進めて、60% の削減をした場合は、ほとんどの地域での地下水位 0m 以下の地域がなくなることとなった。

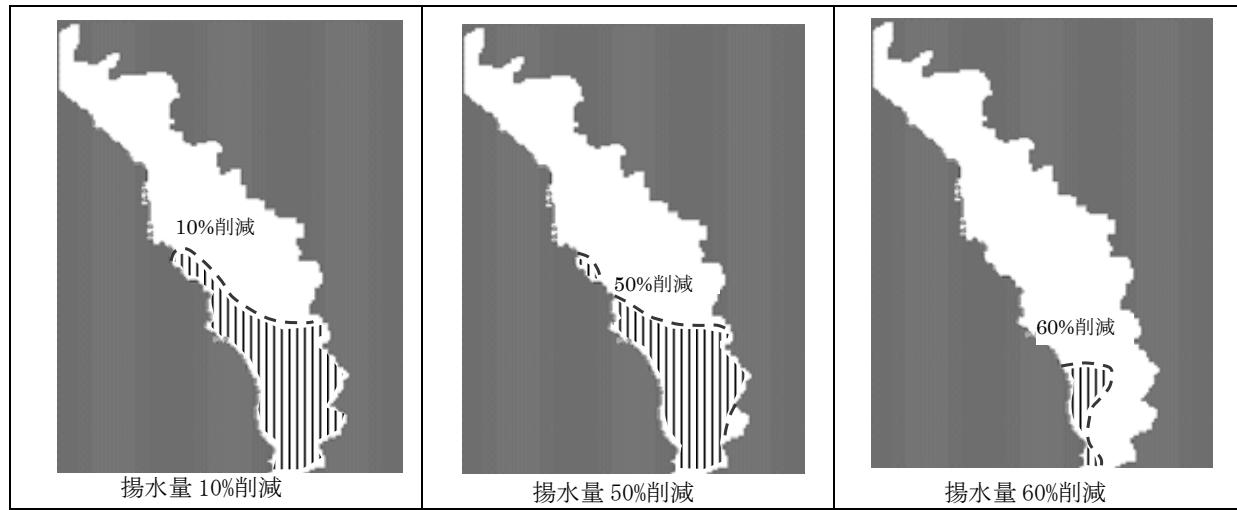


図 C.5-12 Jazan 州における揚水量削減量と地下水位 0m 以下の範囲 (JICA 調査団解析)

地下水モニタリング結果とシミュレーション結果を比較し、観測結果とシミュレーション予測結果との乖離が生じた場合はその原因を明らかにし、将来予測を修正することが必要である。図 C.5-13 には、提案するジャザン州の地下水モニタリングを示す。(地下水シミュレーション結果の詳細は、サポートティング・レポート、参照)

他の州についても、地下水の監視が重要であり、定期的なモニタリングが重要である。

表 C.5-8 地下水モニタリング計画

測定項目	観測頻度	目的
地下水位	1回/月	主要な観測井で地下水位を観測する。
水質 (電気伝導度)		主要項目の水質試験を行う。 海水侵入が予測される地区では、塩分濃度に特に着目する。



図 C.5-13 地下水モニタリング位置 (Jazan 州)

5.4 水資源の保全

5.4.1 表流水の保全

表流水の保全のためには、ワジの保全と貯水池の保全が重要である。ワジに不法に投棄される廃棄物やゴミは、降雨時にはワジを流下しワジの下流に汚染を拡大し、また、ワジから地下に浸透し地下水を汚染する。また、ワジに設置されたゴミがダムの貯水池に流入すると貯水池の水質を悪化させる。地下水は一旦汚染されると、回復が非常に困難である。

貯水池の周辺及び上流域から汚染物質や土砂の流出により、貯水池の水質悪化や貯水池の容量の減少を引き起こす。

このような原因による表流水の保全のために以下の取り組みが有効と考えられる。

- ◆ 家庭ゴミ収集の回収率向上のための施策を実施し、無秩序な投棄を防止する。
- ◆ 下水道施設の整備と普及による各家庭排水等の回収率を向上させる。
- ◆ 下水処理施設の整備をすすめ、回収した排水を適切に処理する能力を向上させる。
- ◆ 貯水池周辺を保全区域に指定し、住居、工場、農業、畜産などを制限する。
- ◆ ゴミの不法投棄をなくすための啓蒙活動を行う。

下水処理については、ワジでの自然希釈や流下中の水質改善はできないため、下水処理水が放流される前の処理状況を確認し、処理水が汚染源とならないような措置をとることが必要である。貯水池については継続的なモニタリングの実施を行い、汚染が発見された場合には、汚染源の特定と対策を確実に行うことが必要である。

5.4.2 地下水の保全

地下水を保全するために、健全な水收支を維持することによって正常な地下水環境を維持する必要がある。過剰な揚水は水收支のバランスを崩し、地下水環境を悪化させ、地下水資源を急速に減少させる。過剰揚水が地下水環境に及ぼす影響は以下のとおりである。

- ◆ 過剰揚水による地下水位の低下
- ◆ 地下水位の低下による海岸部帶水層への海水侵入
- ◆ 地下水位の低下による深部地下水昇と地下水塩分濃度の上昇

上記を緩和するための手法としては、以下が有効である。

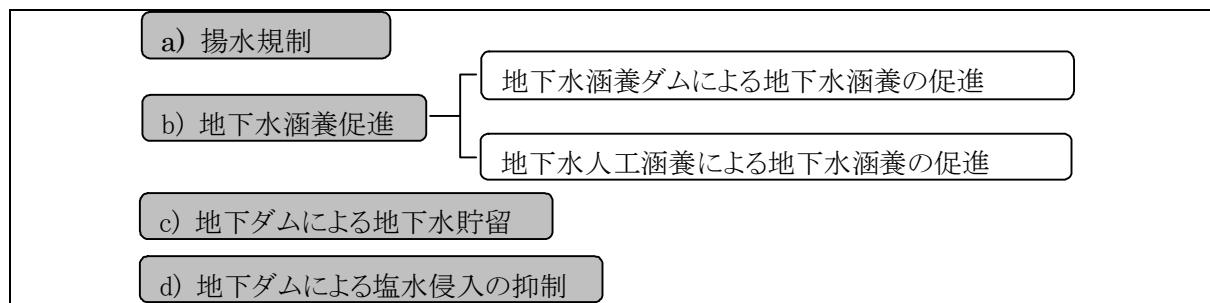


図 C.5-14 地下水資源保全手法

上記 b)～c)は調査地域において既に計画・実施されている。a)は最も有効な手法であるが、代替水源の確保が規制実施の前提となる。d)は、紅海沿いの海岸平野、例えば Jazan 州の南部地域において適用可能な手法である。

地下水資源の状況や対策事業の効果を把握するために、継続的な地下水モニタリング（地下水位と塩分濃度に関する測定）の実施が不可欠である。

5.5 組織・管理体制

(1) 現行組織の問題点

現行の水行政組織及び海水淡水化水と再生可能水の供給・利用は、図 C.5-15 及び図 C.5-16 に示すようになっており、以下の課題がある。

- 飲料・生活用水を管理・供給する MOWE と農業用水を管理する MOA の間の連係・調整機能が乏しく、相互に水不足を認識しながらも、各々で取水・用水が独自に制約なく行われている。
- 再生可能水の取水・給水は、飲料・生活用水として MOWE が供給する部分は MOWE により水量、水質のモニタリングにより利用状況が管理されているものの、農業用水として利用されている再生可能水は、各地域、各施設で個別に使用されており利用状況が管理されていない。このため、再生可能水の総合的な給水管理・実施が行われていない。
- 個別のダム管理は地方水総局がデータの収集・とりまとめを行うこととなっている。しかし、個別ダムからのデータの報告がルールにのっとり行われていないケースや、MOWE との情報共有が円滑にできていない場合がある。公社組織で運営されている SWCC は効率的な運営、適切な情報管理と施設管理が行われており、組織の構築にあたっては参考とすべきである。
- ダムを利用して行われる利水や地下水涵養にかかる水配分ルールが定められていないことから、計画的な水利用が行われていない。
- 各州間に跨る総合的な水需給・水配分管理の実施や統合的な表流水、地下水の管理・運用のための機構が明確になっていない。このためその実施が困難である。

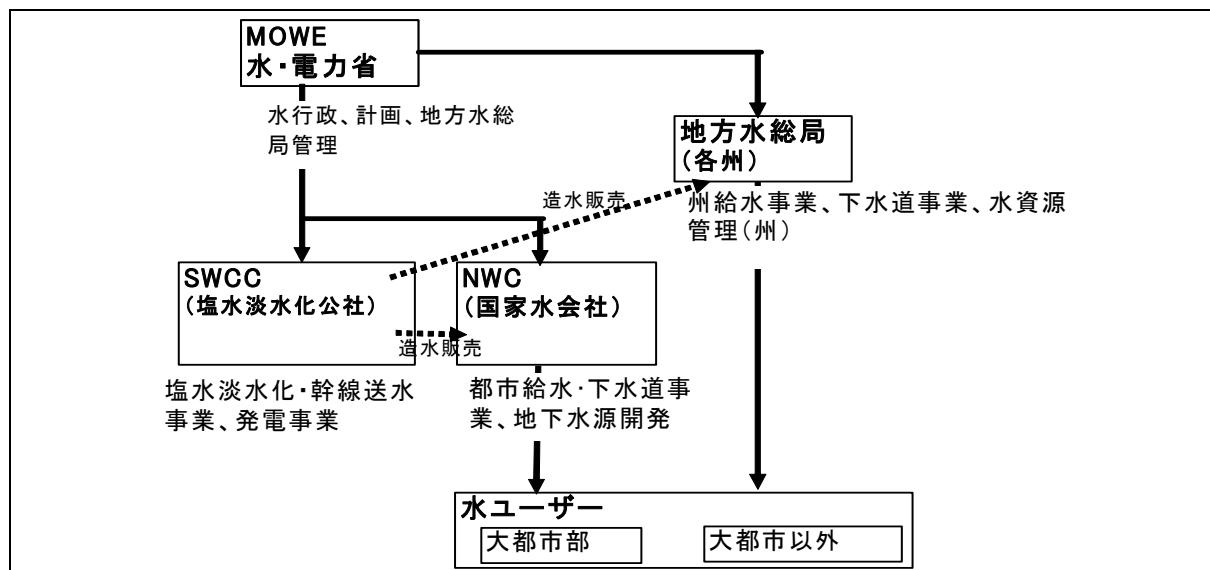


図 C.5-15 水行政組織（現行）

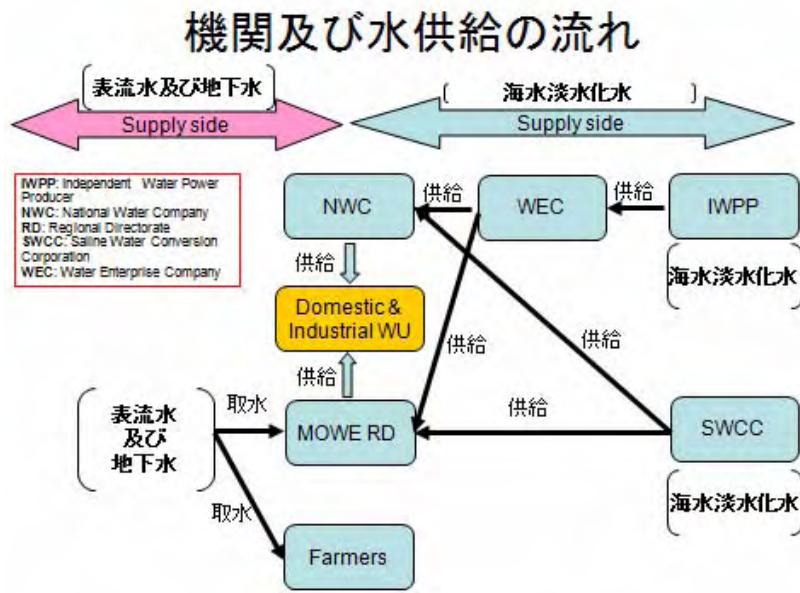


図 C. 5-16 水供給の関係組織（現行）

(2) 組織改善案の提案

再生可能水の利用の観点から現行組織体制では、もっとも再生水資源を利用している農業用水の水利用のモニタリングや規制の機能が不足していることから、農業用水を使われている水資源の管理が十分、行われていない。また、再生可能水を水文的な変動や水セクター間の需要に合わせて効率的に利用するための流域内、流域間調整機能が不足していると考えられる。これらを強化し、水の統合管理を行うために、図 C. 5-17 に示す組織の改善を提案する。

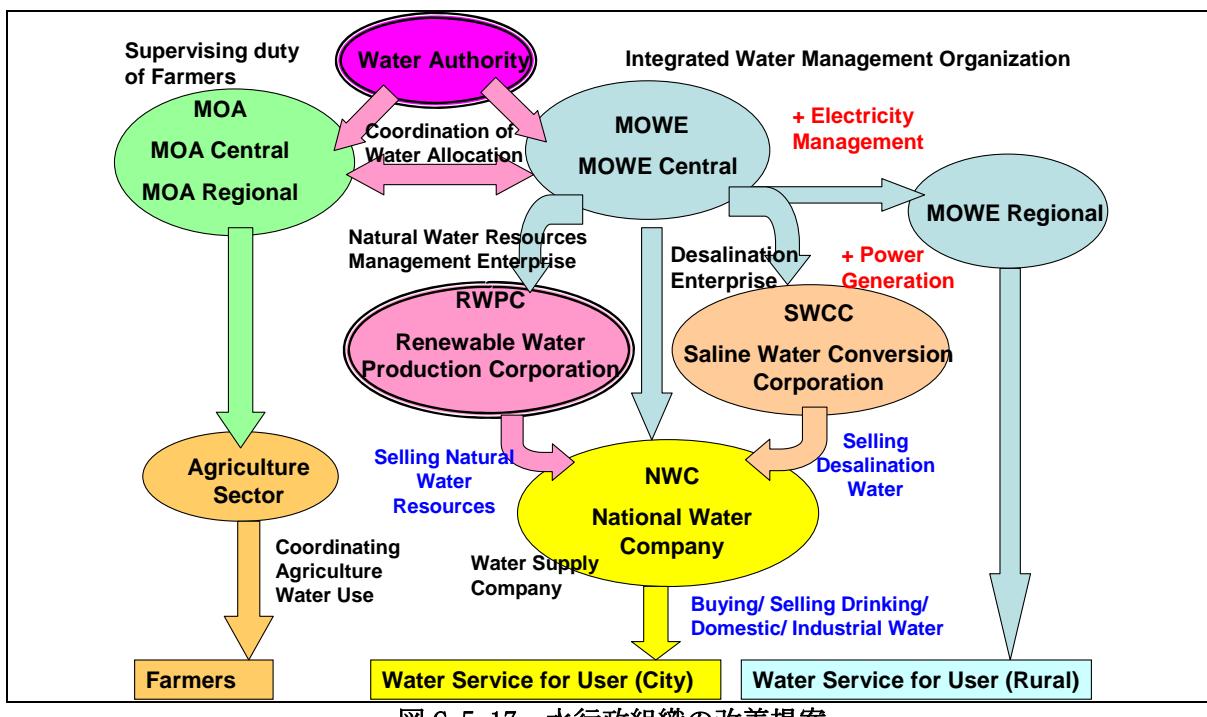


図 C. 5-17 水行政組織の改善提案

- 組織の改善では新たな組織を含め、政策決定、監督・規制、事業実施といった役割分担の見直しを行う。
- 政策決定のレベルでは、国の水資源開発・管理の方針、およびそのために必要な開発管理計画等について、MOWEを中心として関係するすべての省庁により合意形成をはかる機能を持たせる。

- 事業実施のレベルでは、国の水資源開発・管理の方針に基づき合意された開発管理計画にしたがって、国からの委託を受けて主要な事業を実施するための組織を設置し、効率的に事業を実施させる機能を持たせる。
- 事業の実施状況が政策目標を達成し、また、水資源や環境への影響、などを監督し、政策目標にそった事業活動や持続可能な水資源開発管理や環境保全のための規制を行う機能を持たせる。
- 機能の区分をはっきりさせることで、政策決定機関、事業実施機関、監督・規制機関としての役割がはっきりし、責任の明確化が図られる。

上記の目的の達成のために以下の組織を新たに設置することを提案する。

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。

特に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の将来の水利用については、水資源の観点からだけでなく食料政策、農業政策とも連動する課題であり、省庁を横断する議論及び調整が必要となり、この水調整委員会及び水審議会で扱う重要課題の一つと想定される。

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、中立かつ公平な水供給を行うために設置され、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。

統合運用を行なう主要ダムの管理・維持、主要地下水盆の管理・維持を行い、主要な再生可能水資源の取水、送水網を専門に管理し、再生可能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。

- 水道事業等へ再生可能水を原水として供給する
- 地下水涵養のための施設操作を行う
- 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）
- 主要地下水盆のモニタリング（揚水量、水質管理のため）及び管理施設（観測井、揚水施設）の維持管理
- 取水した再生可能水の幹線輸送（輸送制御、施設の維持管理）および販売
- MOWE が委託による大・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

RWPC は、MOWE の監督のもとで海水淡水化水の製造、供給事業を実施している SWCC と、再生可能水の供給事業の水供給分野で競合する組織となる。SWCC は公社組織とすることにより、効率的な運営が行われていると認められる。再生可能水を供給する RWPC についても SWCC と同様な公社組織とし効率的に運営される組織とする。現在、SWCC は民営化も見通しながら水供給事業の中心として事業を実施しており、水供給の競争相手がない状態である。RWPC が再生可能水の開発供給を計画的に行うことにより、より安価な水を供給する組織となり、ひいては、SWCC のより効率的な運営を引き起こすことが期待される。

(3) 既存組織の再編成

新組織設置に伴い、既存組織の役割および機能を以下に示すように再編成することを提案する。

<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向に基づき、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。以下の役割を果たす。

- 1) 水政策方針に基づく水行政の全体計画の立案（各水セクターへの水資源配分の決定を含む）、下部機関の活動目標の設定および管理
- 2) 大規模施設の計画・調査・設計・建設事業の管理
- 3) 基礎データの収集ネットの運営および中央データベースの管理： 雨量、河川流量、ダムの水位・貯水量・取水量・水質、主要帶水層・地下水盆の地下水位・貯留量・揚水量・水質など
- 4) 地下水のモニタリング及び利用の規制
- 5) 取水規制、取り締まり指令
- 6) 水源の流域保全管理指導
- 7) 水政策、計画、水利用現状及び将来像の広報・普及・教育の指導および実施管理
- 8) 人材育成、能力開発指導および管理
- 9) 研究、技術情報管理

<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 の指導の下での中・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。以下の役割を果たす。

- 1) 地方水事務所の事業実施計画の策定
- 2) 所管地域、施設の維持管理
- 3) 中・小規模施設の計画・調査・設計・建設事業の管理
- 4) 所管地域の基礎データの収集およびネットワークへの情報入力管理
- 5) 所管地域の取水規制・取締りの実施
- 6) 水利用啓蒙活動（広報・普及・教育）の実施

<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。水分野の主な役割は以下のとおりである。

- ◆ 海水淡水化事業の実施
- ◆ 海水淡水化による造水と販売および生産された水の幹線輸送事業の実施
- ◆ 保有施設の制御、維持管理および新施設の計画・調査・設計・建設事業の実施

<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。主な役割は以下のとおりである。

- ◆ RWPC から供給される再生可能水、SWCC から供給される海水淡水化による造水を購入し、上水の配水・販売の実施
- ◆ 净水施設、配水施設、配水網の制御、維持管理および新施設の設計・建設事業管理
- ◆ 下水道事業の実施、下水道施設の制御、維持管理および新施設の設計・建設事業管理
- ◆ 再生水の供給・販売

- ◆ 上水の再利用、下水のリサイクル利用の推進

(4) 農業用水管理組織および農業団体の創設への提案

M/P 策定対象地 3 州においても、農業用水の過剰取水により、飲料水・生活用水の取水が制約・圧迫を受けている報告が多くある。農業用水の取水に対して特別な制限の設定は行われていないため、過剰揚水により、生活用水取水への圧迫と共に、農業従事者相互に農業用水逼迫の影響を受ける事態も生じている。

MOA による Decision335 により、農業用水の需要は抑制されると期待されるが、引き続き農業用水が再生可能水の最大の利用者であろう。このため、本地域における水資源の効率的、公平な利用のためには農業用水も含めた資源の管理が不可欠である。

これまで、農家は個別の井戸を個別に使用しているが、個別の農家を水利用の調整の対象者として想定することは、調整に要する時間や労力が膨大になり、また、要望も個人で多様であることから、現実的ではない。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を創設することを提案する。農業組織の改善図式を図 C.5-18 に示す。

この組織は、農業セクターの農業用水の利用、供給等に関する窓口として、MOA（本省及び地方事務所）の監督のもとで必要な事業を実施する。なお、MOA は、MOWE と連携して農業セクターの農業用水の需要を管理する農業政策を検討することが期待される。

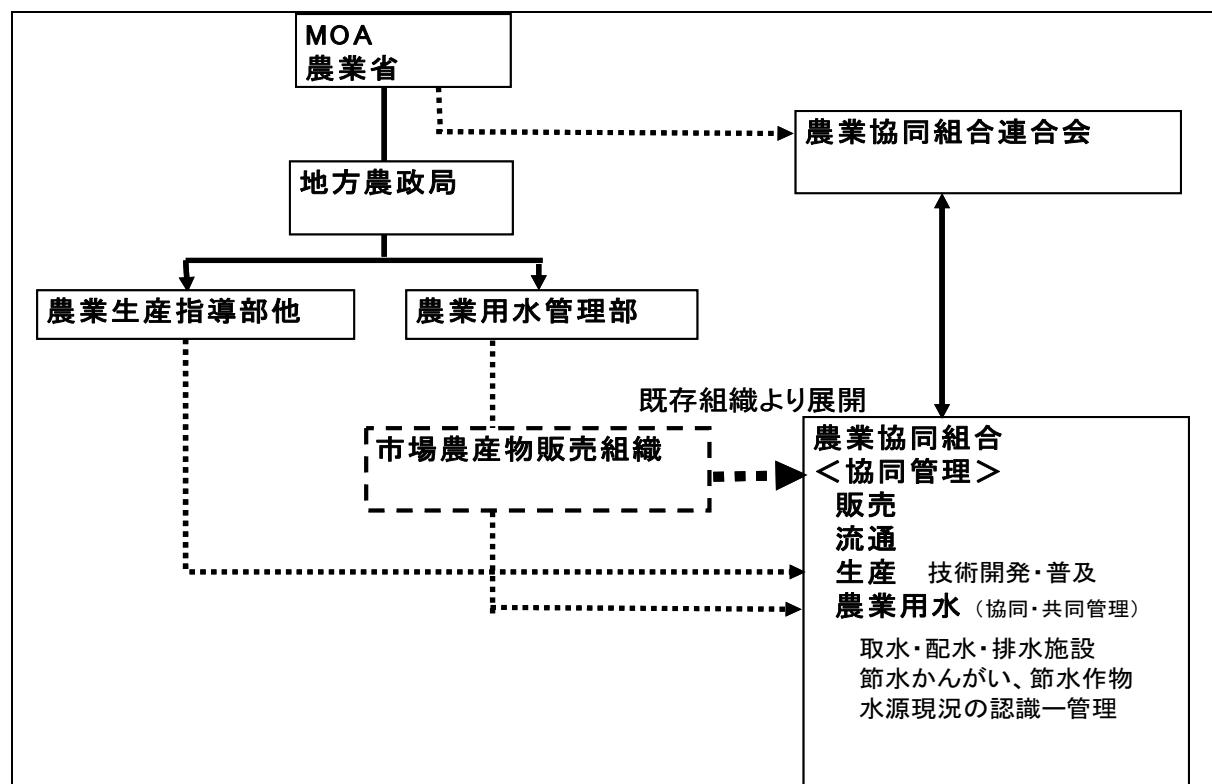


図 C.5-18 農業組織の改善提案

<農業用水管理部（農業省各地方機関内）>

農業用水管理部は、農業用水管理および農民相互およびその他の水利用者間の調整を行う機関であり、以下の機能を持つ。

- ◆ 用水管理および指導
- ◆ 農業用水利用地における環境管理および取水施設の管理
- ◆ 用水利用実態管理および問題点の把握
- ◆ 節水技術、用水の再利用技術、再生水利用の指導、普及

<農業協同組合>

農業協同組合は、農家が共同で農産物の生産、販売、流通、農業技術の開発、導入を行うことを目的として設立する。これらの活動をとおして農業用水の需要を管理する。主なる機能は、以下の通りとする。

- ◆ 協同で農産物の生産、販売、流通を行う。
- ◆ 協同で取水・配水・排水施設整備を行い、農業用水の自主管理を行う。
- ◆ 協同で農業技術の開発、技術導入を行う。
- ◆ 協同で持続的な農業活動を行うための実践的な研修・普及活動を行う。

<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

(5) 渴水調整

渴水時には、対象地域全体の貯水池、地下水の状況をもとに、ネットワーク化されているパイプラインを活用し流域、州を越えて再生可能水の再配分を行うものとする。

渴水調整は、各利害関係者の代表が出席する場で調整を図ることとする。州をまたがった問題であるので、MOWE 本省が公平な立場で調整を取りまとめるものとする。

農業セクターは先に提案した組織の代表が農業内部の調整をした上で、全体の調整に参加し、さらに決定事項については責任を持って農業内部のメンバーに実施されることに努めるものとする。渴水調整結果の実施の強制力は、MOA により発動され、従わない場合には必要な処分を行える制度を導入する。

水道セクターは、RWPC、SWCC が調整の結果再配分された計画に従って、MOWE の監督のもとで水供給を実施する。

(6) 地下水管理

対象地域の地下水の管理は、地下水の帶水層の範囲が必ずしも行政界と一致しないことから、MOWE 本省が管理し、必要な規制を行うこととする。

個々の水使用許可、水使用のモニタリングと報告は MOWE の地方事務所が所管し、これらの情報を MOWE に報告し共有するシステムを構築する。

RWPC はダムの管理を通じて地下水涵養やその地下水の利用を管理する。RWPC はこの業務を実施するために必要な地下水のモニタリングや調査を実施する。RWPC のモニタリング及び調査結果は MOWE に報告され、情報共有され、MOWE が実施する各水セクターの水配分や水利用計画の策定に当たって参考されるものとする。

この地下水の管理にあたっては、MOWE と RWPC は共同して地下水モデルを構築し、実際のモニタリング結果とモデルでの検証を並行して実施して、必要な規制や、再生可能水の再配分を検討するシステムの構築が望まれる。

5.6 人材育成、能力開発

MOWE 本省および地方水総局が、水に関わる管理・監督機関としてイニシアチブを發揮し、職員の資質の向上、強化を図るために、コンサルタント会社や建設会社などの外部機関を手足として使いこなし、傘下の組織の監督・指導ができる技術者および管理者を育成する必要がある。

技術者・管理者の部門および階層区分を図 C. 5-19 に示す。

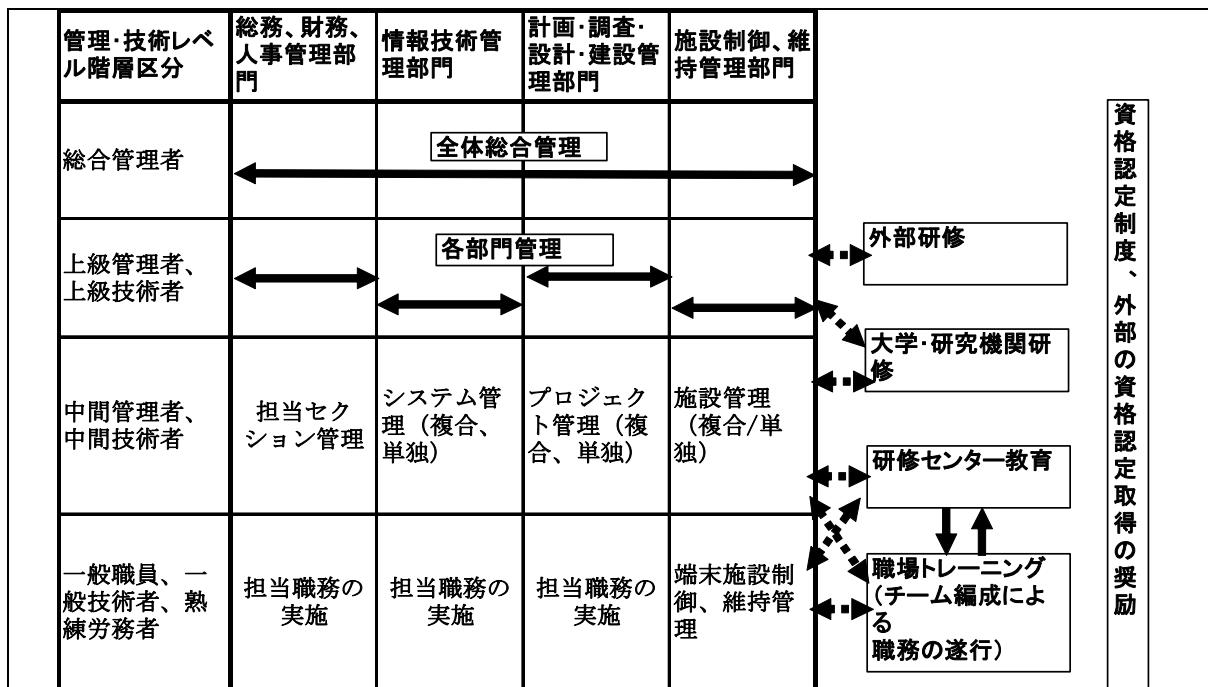


図 C.5-19 管理者、技術者の部門と階層による教育システムの図式

端末施設制御および単独施設に係わる人材のスキルおよび技術レベルのボトムアップとともに、複合施設の管理、その上位の各部門の管理、およびさらに上位の全体を総合的に管理できる人材を育成するために、以下の組織・制度を整備することを提案する。

- ◆ 研修センターの設立： 端末施設制御設備および各施設に係わる人材のスキルおよび技術レベルを向上させるために、長期的、計画的な職能訓練および技術教育を実施する。このための組織として、研修センターを設立し、指導員を配備する。
- ◆ 現場トレーニングの強化： 実作業の中で、研修で受けた訓練、技術教育の成果を定着、強化するために、職場教育 (On the job training) と研修センター教育を繰り返しながら、スキルアップ、技術力強化の定着を図る。このため、班編成により上位指導者が班構成員を指導しながら職務を遂行する体制を敷く。
- ◆ 大学・研究機関を活用した研修： 中間管理者・技術者および上級管理者・技術者の研修を大学・研究機関に依頼して実施し、より高度な管理能力、技術力を着けさせる。研修プログラムおよび教材は、大学・研究機関に依頼し作成する。
- ◆ その他の外部研修： 海外研修、外部機関への出向等（例えば技術力の高いコンサルタントへの出向等）により、幅広い視野を習得し、実務に反映させる。
- ◆ 資格認定制度の導入： 職員の自発的な能力開発を奨励するため、各階層および部門毎の資格認定制度を導入する。また、外部の権威のある団体の資格認定の取得を奨励する。資格の取得が地位の昇級に寄与する制度を整備する。

5.7 水利用の啓発活動

水利用の啓発活動については、MOWE 本省及び各地方水事務所の担当課が各事務所にブースを出して節水キャンペーン活動を展開している。また、年に 1 回、1 週間程度の節水キャンペーン週間が設定され、節水奨励のためのテレビコマーシャルの放映および新聞広告の掲載が行われている。

アブハ水事務所においては、女性のための節水キャンペーン特別室が入口を分け設置されている。しかしながら、現行キャンペーンは節水の普及（水栓やトイレタンクに取り付ける節水器具の普及）のみに留まり、その対象は、節水キャンペーン週間以外では、主に MOWE 本省及び各地方水事務所来訪者に留まっている。

水利用に対する住民意識をさらに改善・向上させる啓発活動を拡大・推進するため、以下の活動

を行うことを提案する。水利用啓発活動の図式を図 C. 5-20 に示す。

- ◆ 水不足の現況、将来状況の広報を行い、節水の必然性を強く認識させる活動
- ◆ 水の 3R (Reduce, Reuse, Recycle) 使用を普及、定着させる活動
- ◆ 各家庭、公共用地での雨水貯留(Water harvesting)実施の促進、利用を推進する活動
- ◆ 教育の一環としての水利用の行動規範を定着させるための活動の実施
- ◆ メディアやモスクでの広報活動の展開。

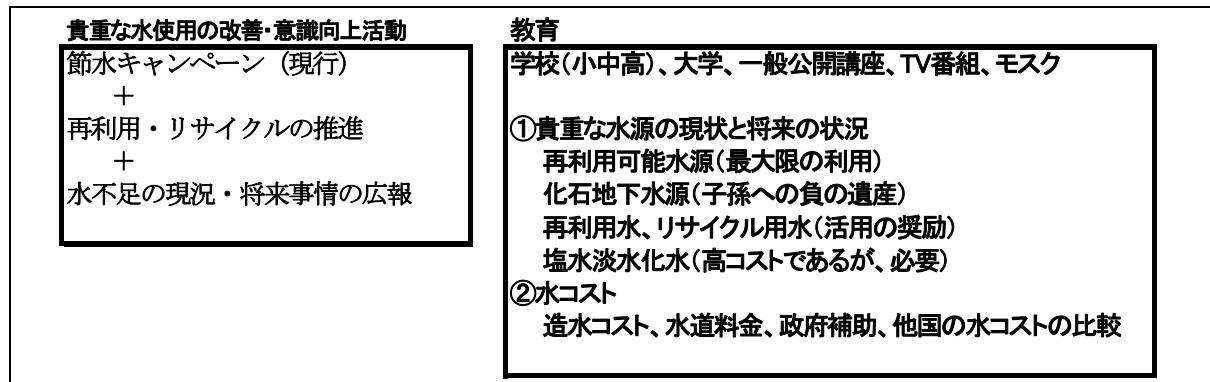


図 C. 5-20 水利用啓発活動の図式