

第6章 水マスタープラン(M/P)の策定

6.1 水マスタープラン(M/P)の策定地域・目的・構成

(1) 水 M/P の策定地域

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

(2) 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。

(3) 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、非在来型水資源)
- ◆ 給水計画 (都市用水・工業用水)
- ◆ 水需要の管理
- ◆ 運営維持管理計画
- ◆ 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

6.2 マスタープラン(M/P)策定の基本コンセプト

水 M/P は、前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) 開発対象となる水資源・開発方法・利用範囲

水資源開発の開発対象となる水資源・開発方法・利用範囲を表 6-1 に示す。

表 6-1 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"> • グムによる貯留 • 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)	• 浅層井戸からのくみ上げ	
	◆深層化石地下水	• 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(綠化) • 工業用水の一部 • 農業用水

(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、下水再生水の利用(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。

(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、下水再生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・紅海水ライフルインおよび管理組織)
- ◆ ダムを利用した地下水涵養(ダムと下流地下滯水層との連携・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

6.3 水資源開発

6.3.1 再生可能水資源

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

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

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6-1参照)

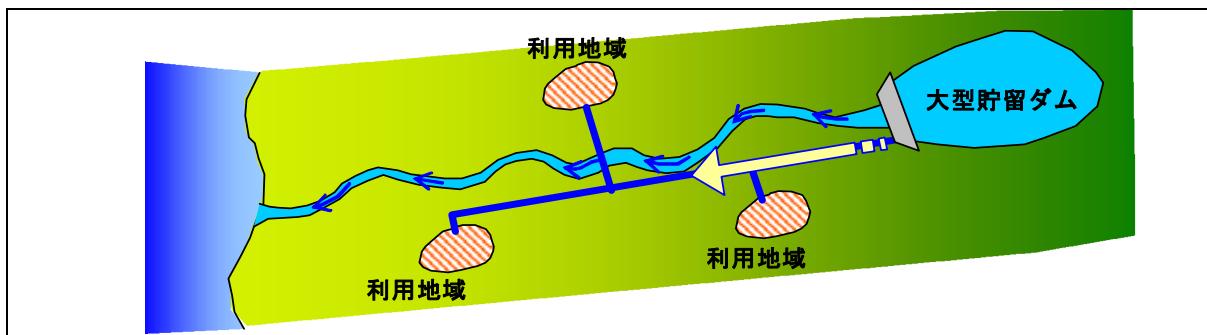


図 6-1 大型貯水ダムによる表流水開発

大型貯水ダムと下流地下滞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、下流の滞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 6-2 参照)

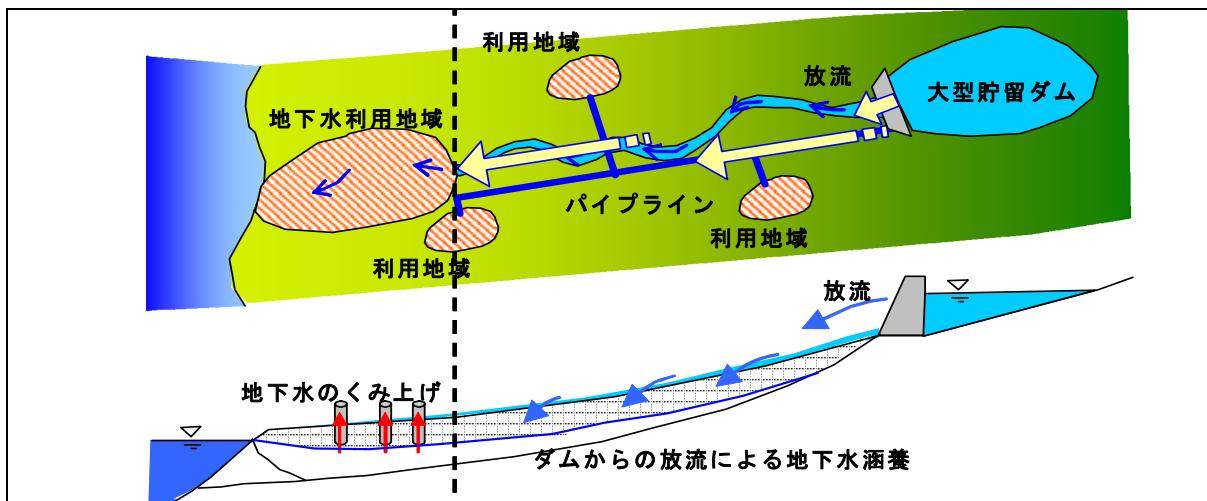


図 6-2 大型貯水ダムと下流地下滞水層との連携による表流水・地下水開発

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 6-3 参照)

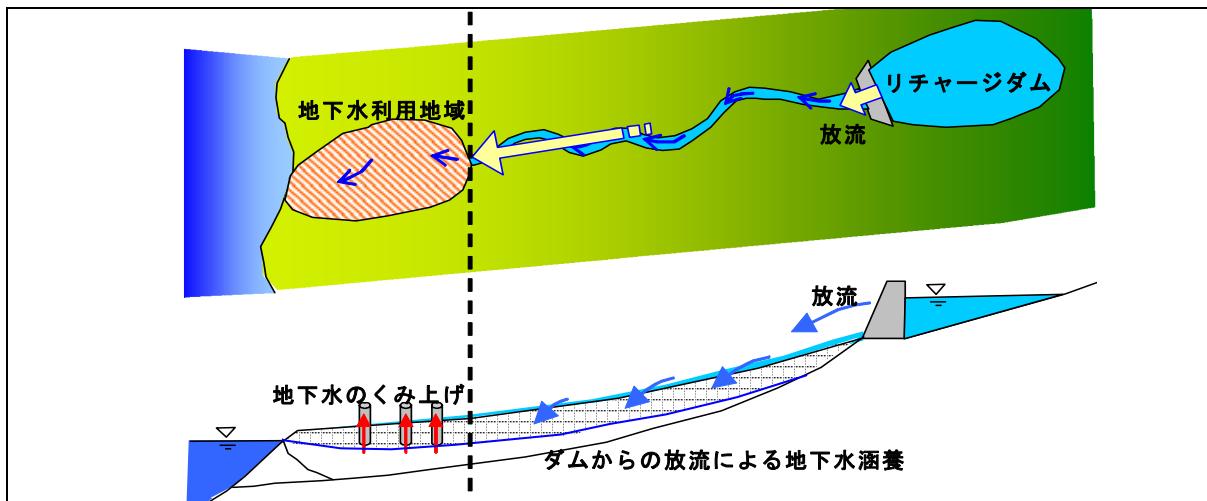


図 6-3 リチャージダムを利用した地下水開発

(1) 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 6-2 に示す通りである。

表 6-2 3 州に関連する今後の給水計画や灌漑計画の対象となるダム

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)
Al Baha	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.	Jazan	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

(2) 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。

貯水池の水收支式

貯水池の水收支は次のような式で表される。

$$\begin{aligned}\Delta V(i) &= V(i) - V(i-1) \\ &= Qin(i) - Qsp(i) - E(i) - Qdv(i)\end{aligned}$$

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
- $Qin(i)$ = 時刻(i)から時刻(i-1)までの Δt 時間の貯水池への流入量
- $Qsp(i)$ = 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
- $Qdv(i)$ = 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。

開発流量の対旱魃への安全度

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。

(3) 開発流量の計算結果

計算結果を表 6-3 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 6-3 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%
Hir jab	東(砂漠)	16.8	4.6	3.4	9	20%	4.4	12	26%
Jazan	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

6.3.2 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、下水道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。

(1) 海水淡水化水

計画対象区域内の海水淡水化水の利用の現状

A1 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。各プランともプラントの生産効率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。

- ◆ A1 Baha 州では、Shuaibah からの海水淡水化水 ($10,000\text{m}^3/\text{日}$) が Makkah 州のタイプを経由して A1 Baha はじめ 4 都市に配水されている。A1 Baha 州からは、同ルートからの増強 ($70,000\text{m}^3/\text{日}$) が 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 ($83,900\text{m}^3/\text{日}$) 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 ($196,000\text{m}^3/\text{日}$) 完成する予定である。
- ◆ Jazan 州では、Shuqaiq からの海水淡水化水 ($3,000\text{m}^3/\text{日}$) が Ad Darbni 配水されている。また、Farasan 島では、生産能力 ($1,000\text{m}^3/\text{日}$) 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 ($72,000\text{m}^3/\text{日}$) 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 $9,000\text{m}^3/\text{日}$ まで増強される予定である。

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 $2.40\text{SR}/\text{m}^3$) 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 $5.18\text{ SR}/\text{m}^3$ 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) 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、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。

- ◆ A1 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。

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 6-4 に示す。

表 6-4 2020 年時点処理量利用状況

項目	A1 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、A1 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。

<下水処理水の再利用 → 農業用水としての利用への提案>

表 6-4 で示したように、A1 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、A1 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。

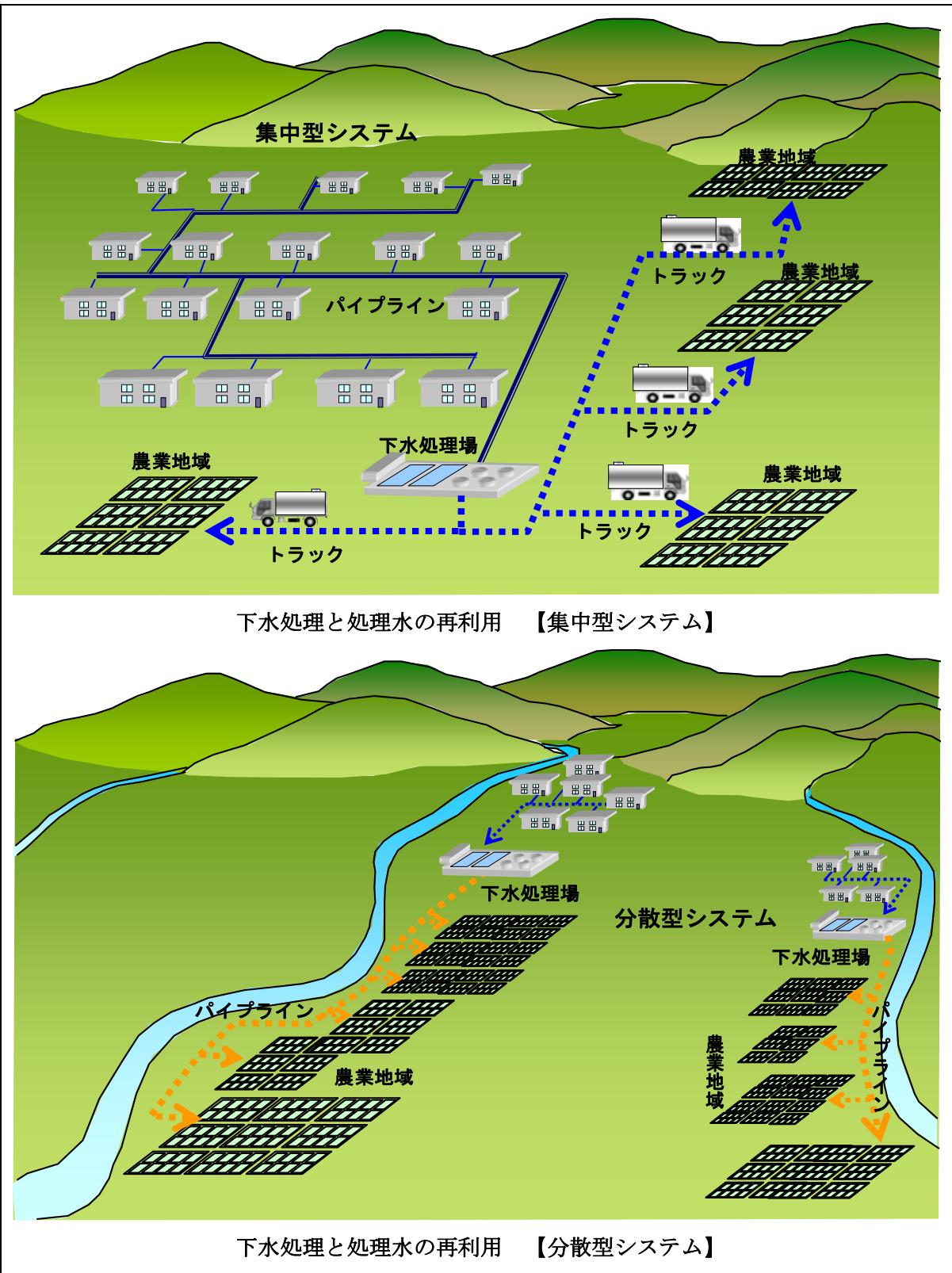


図 6-4 下水処理と処理水の再利用システム

<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。

このシステムは、Jizan 市の下水処理水を使って、塩害の影響が出ている同市南部の地域で適応が可能できそうである。今後、詳細確認が必要である。

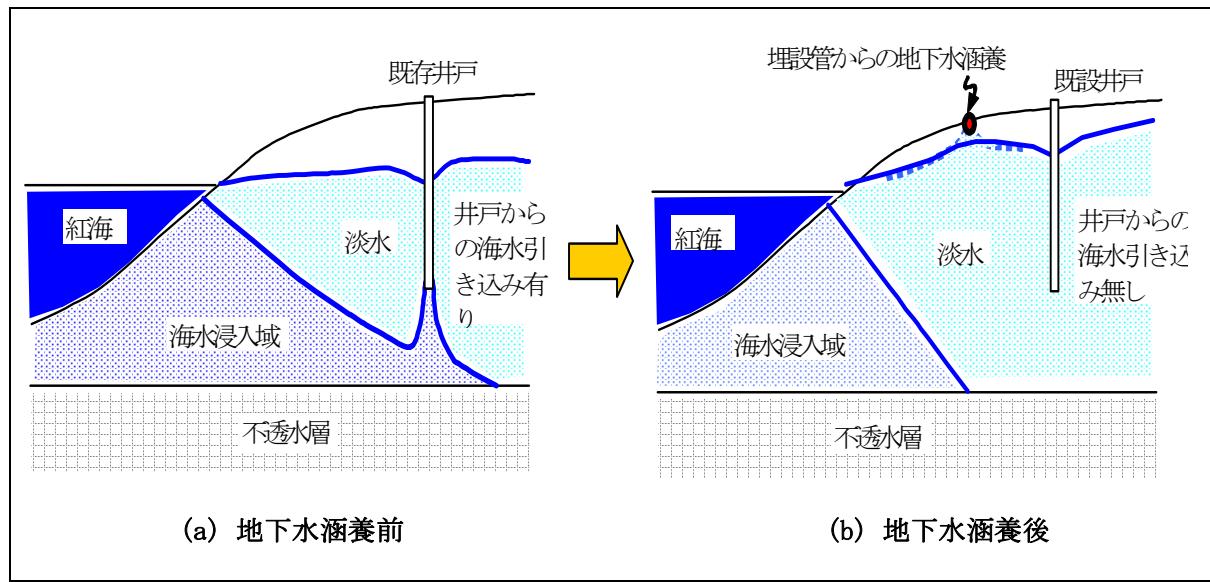


図 6-5 下水処理水による塩水化対策

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。

6.4 給水計画

6.4.1 計画の基本条件

(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、以下のとおりとする。

水資源の種類

M/P3 州における給水計画としては、生活用水、業務、商業用水を対象とする。水資源としては、表流水、(浅層) 地下水、地下水（化石水、非再生可能水）、海水淡水化水の4種類とする。

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

総合水供給システム

本水 M/P においては、B 編 5 章で提案した「紅海水ライフライン」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、海水淡水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

本調査では、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、MOWE が計画している給水量の値を用いる。

(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）による水源と給水量を整理すると、以下の通りとなる。

表 6-5 既存施設の水源別の開発量

Region	Resources	Name of Facility	Volume (m ³ /日)	Remarks
Al Baha	1. Renewable Water	<Dams> <i>Aradah Dam</i> <i>Al Aqiq Dam</i> <i>Tharad</i>	19,000 14,000 (5,000) (4,000) (5,000)	2 resources
		<Wells> <i>Qilwah</i> <i>Mukhwah</i> <i>Al Aqiq</i> <i>Others</i>	5,000 (2,000) (1,000) (1,000) (1,000)	
	2. Desalinated Seawater	<i>Shuaiba</i>	10,000 10,000	
	3. Total		29,000	
Asir	1. Renewable Water	<Wells> <i>Bisha</i> <i>Balqarn</i> <i>Al Majardah</i> <i>An Namas</i> <i>Tathlith</i> <i>Ahad Rifayda</i> <i>Sarat Abidah</i> <i>Zahrان Al Janub</i> <i>Khamis Mushayt</i> <i>Abha</i> <i>Muhayl</i> <i>Rijar Almah</i> <i>Al Birk</i>	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	<i>Shugaiq</i>	82,000 (82,000)	
	3. Total		122,000	
Jazan	1. Renewable Water		136,000	
		<Wells> <i>Ad Darb</i> <i>Al Rayth</i>	136,000 (2,000) (2,000)	

Region	Resources	Name of Facility	Volume (m ³ /日)	Remarks
		Baysh	(16,000)	4 resources
		Al Idabi	(3,000)	
		Ad Dair	(3,000)	
		Sabya	(22,000)	4 resources
		Damad	(4,000)	2 resources
		Al Aridah	(2,000)	
		Jazan	(22,000)	3 resources
		Abu Arish	(17,000)	3 resources
		Al Harth	(7,000)	
		Ahad Al Musariyah	(21,000)	
		Al Juradiyah	(11,000)	
		Al Tuwal	(4,000)	2 resources
	2. Desalinated Seawater		4,000	
		Shuqaiq	(3,000)	
		Farasan	(1,000)	
	3. Total		140,000	

(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）でダムの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か各ダムの計画給水量を表 6-6 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 6-6 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 (1000m ³ /日)	開発比率*2	計画給水量*3 (1000m ³ /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)

(4) 給水計画のための開発施設と給水量

水資源開発のための州別の開発施設とその計画開発量を示すと以下の通りとなる。

表 6-7 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 (m ³ /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	
		Desalination Plants	Shuaiba Plant	40,000	After Extension
	2015-2020	Desalination Plants	Dawqah Plant	75,000	New Plant (Planned by Study Team)
	2020-2025				No development
	2025-2030		Dawqah Plant	25,000	Extension
Asir	2010-2015	Surface Water	Baysh Dam	25,000	
			Hali Dam	35,000	Makkah Region
			Tabalah Dam	10,000	

州	年代	水源	施設名	計画給水量 (m ³ /日)	Remarks
			Total	70,000	
		Desalination Plants	Shuqaiq	156,000	Extension
		Fossil Water	Wajid	29,000	
2015-2020		Surface Water	Hirjab Dam	9,000	
			Ranyah Dam	68,000	
			Qanunah Dam	18,000	
			Total	95,000	
2020-2025		Desalination Plants	Shuqaiq Plant	75,000	Extension
		Fossil Water	Wajid	32,000	Extension 2 nd
Jazan	2010-2015	Surface Water	Baysh Dam	33,000	
			Damad Dam	36,000	
			Total	69,000	
			Shuqaiq	72,000	Extension
		Desalination Plants	Farasan	8,000	
			Total	80,000	
2015-2020		Surface Water	Qissi Dam	9,000	
		Desalination Plants	Sabya Plant	35,000	New Plant(Planned by Study Team)
2020-2030		Desalination Plants	Sabya Plant	160,000	Extension 2 nd
2030-2035		Desalination Plants	Sabya Plant	55,000	Extension 3rd

注) 新規淡水化プラントは、調査団が計画したものである。

6.4.2 提案する給水計画

(1) A1 Baha 州

需要供給計画

A1 Baha 州の給水計画を表 6-8 および図 6-6 に示す。

表 6-8 A1 Baha 州の給水計画

水資源	-2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035
1. 既存の水源(m ³ /日)	29,000	59,000	19,000	19,000	19,000	19,000
1.1 再生可能水	19,000	19,000	19,000	19,000	19,000	19,000
Aradah Dam (B)	5,000					
Al Aqiq Dam (B)	4,000	14,000	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	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):A1 Baha Region, (M):Makkah Region

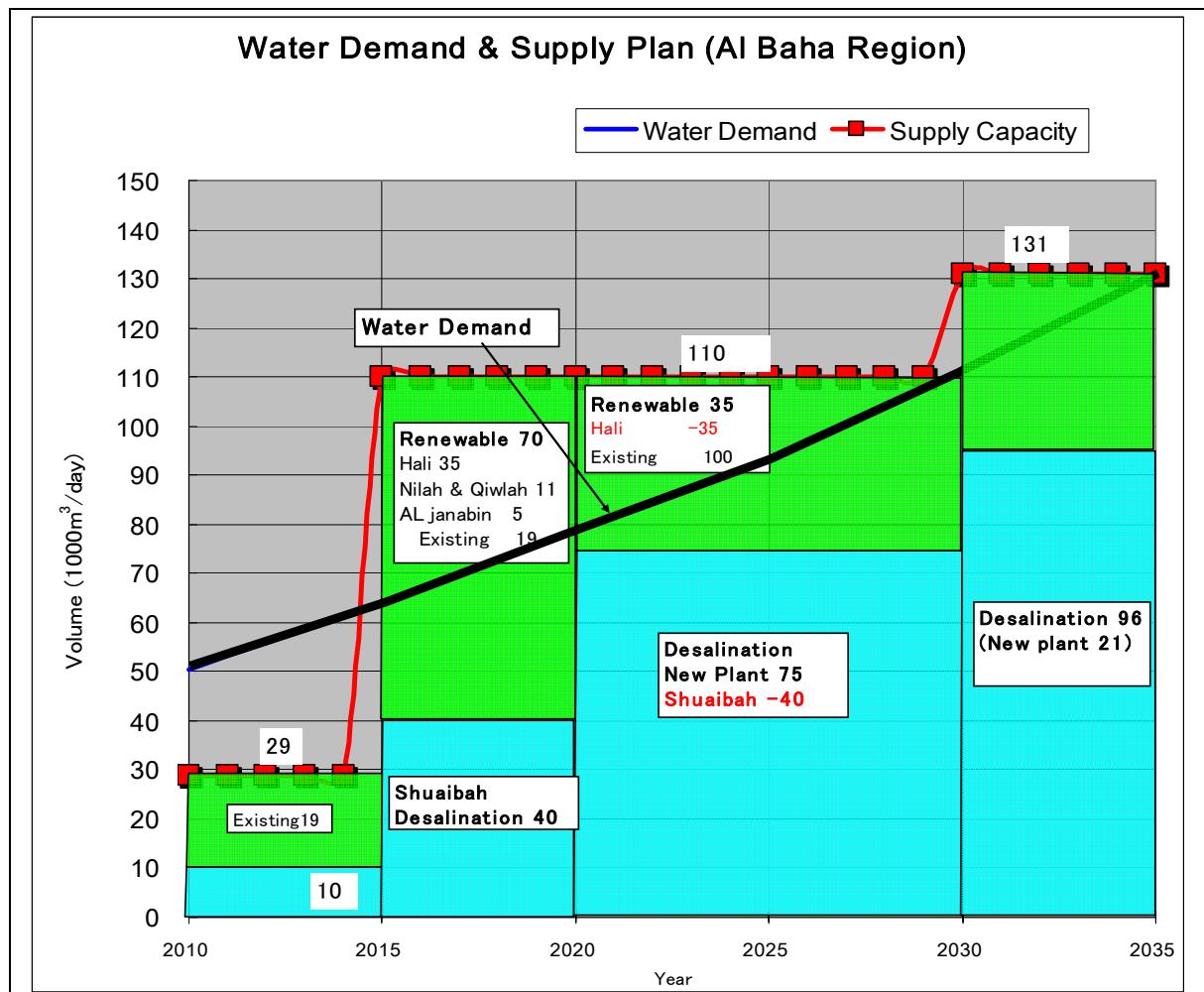


図 6-6 Al Baha 州の水需要供給計画(2011-2035)

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、 $68,000\text{m}^3/\text{日}$ 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。Al Baha 州では、さらに、Makkah 州の Hali ダムの $35,000\text{m}^3/\text{日}$ 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 $11,000\text{m}^3/\text{日}$ ）及び AL Janabin ダム ($5,000\text{m}^3/\text{日}$) 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 $70,000\text{m}^3/\text{日}$ となる。

既存の Makkah 州 Shuaibah 海水淡水化施設からの供給 $40,000\text{m}^3/\text{日}$ と合わせて、合計 $110,000\text{m}^3/\text{日}$ の水が Al Baha 州へ供給可能となる。

<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 Baha 州の水供給施設として、Al Baha 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 $35,000\text{m}^3/\text{日}$ は、同時期に新たに建設する Al Baha-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。

2015 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、 $75,000\text{m}^3/\text{日}$ として計画する。一方、再生可能水の供給能力は、 $35,000\text{m}^3/\text{日}$ に減少する。従って、再生可能水と海水淡化水の供給比率は、 $35,000\text{m}^3/\text{日}$ 対 $75,000\text{m}^3/\text{日}$ となり、供給比率で海水淡化水が 68% となる。

<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 $97,000\text{m}^3/\text{日}$ 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 Baha 州の 2031 年の水需要量は、 $115,000\text{m}^3/\text{日}$ 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化水の増強で対応する。2030 年における海水淡化水の Dawqah プラント増強は、約 $25,000\text{m}^3/\text{日}$ であり、合計約 $100,000\text{m}^3/\text{日}$ 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（ $135,000\text{m}^3/\text{日}$ ）にも対応できる。

(2) Asir 州

需要供給計画

Asir 州の給水計画を表 6-9 および図 6-7 に示す。

表 6-9 Asir 州の給水計画

水資源	-2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035
1. 既存の水源($\text{m}^3/\text{日}$)	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($\text{m}^3/\text{日}$)		245,000	375,000	482,000	557,000	557,000
2.1 再生可能水		70,000	200,000	200,000	200,000	200,000
Bayash Dam (J)	-	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000
Hali Dam (M)	-	35,000	70,000	70,000	70,000	70,000
Tabalah Dam	-	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Hirjab	-		9,000	9,000	9,000	9,000
Ranyah Dam	-		68,000	68,000	68,000	68,000
Qanunah Dam (M)	-		18,000	18,000	18,000	18,000
2.2 海水淡化水		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($\text{m}^3/\text{日}$)	122,000	367,000	497,000	604,000	679,000	679,000
4. 水需要($\text{m}^3/\text{日}$)	295,000	361,000	432,000	495,000	571,000	648,000

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

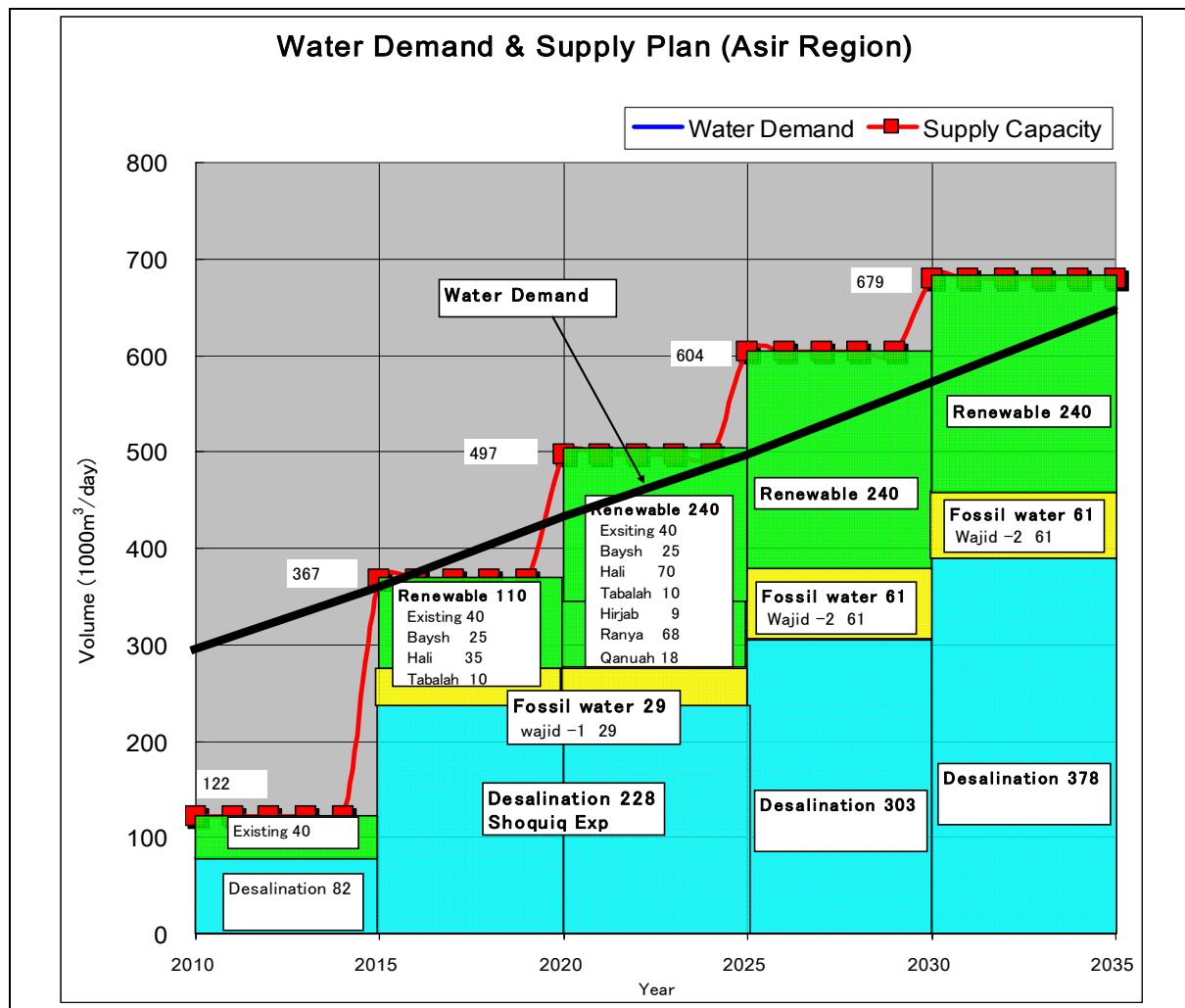


図 6-7 Asir 州の水需要供給計画(2011–2035)

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、 $367,000\text{m}^3/\text{日}$ 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。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 2011 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。

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。

<2016 年–2020 年の整備計画>

Asir 州の 2020 年の水需要量は、 $432,000\text{m}^3/\text{日}$ 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 $9,000\text{m}^3/\text{日}$ 、Ranyah ダム $68,000\text{m}^3/\text{日}$ 、Qanunah ダム $18,000\text{m}^3/\text{日}$ 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。

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。この時点での再生可能水の開発は最大限の開発となる。

海水淡化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、海水淡化化水約 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。

<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、化石水及び海水淡化化水施設により水需要増に対応するものとする。

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、海水淡化化水としては、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計画とする。

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

<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/日および海水淡化化水 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。

6.4.3 Jazan 州の給水計画

需要供給計画

Jazan 州の給水計画を表 6-10 および図 6-8 に示す。

表 6-10 Jazan 州給水計画

水資源	-2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035
1. 既存の水源(m ³ /日)	140,000	140,000	140,000	137,000	137,000	137,000
1.1 再生可能水	136,000	136,000	136,000	136,000	136,000	136,000
Existing Wells	136,000	136,000	136,000	136,000	136,000	136,000
1.2 海水淡化化水	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 海水淡化化水	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

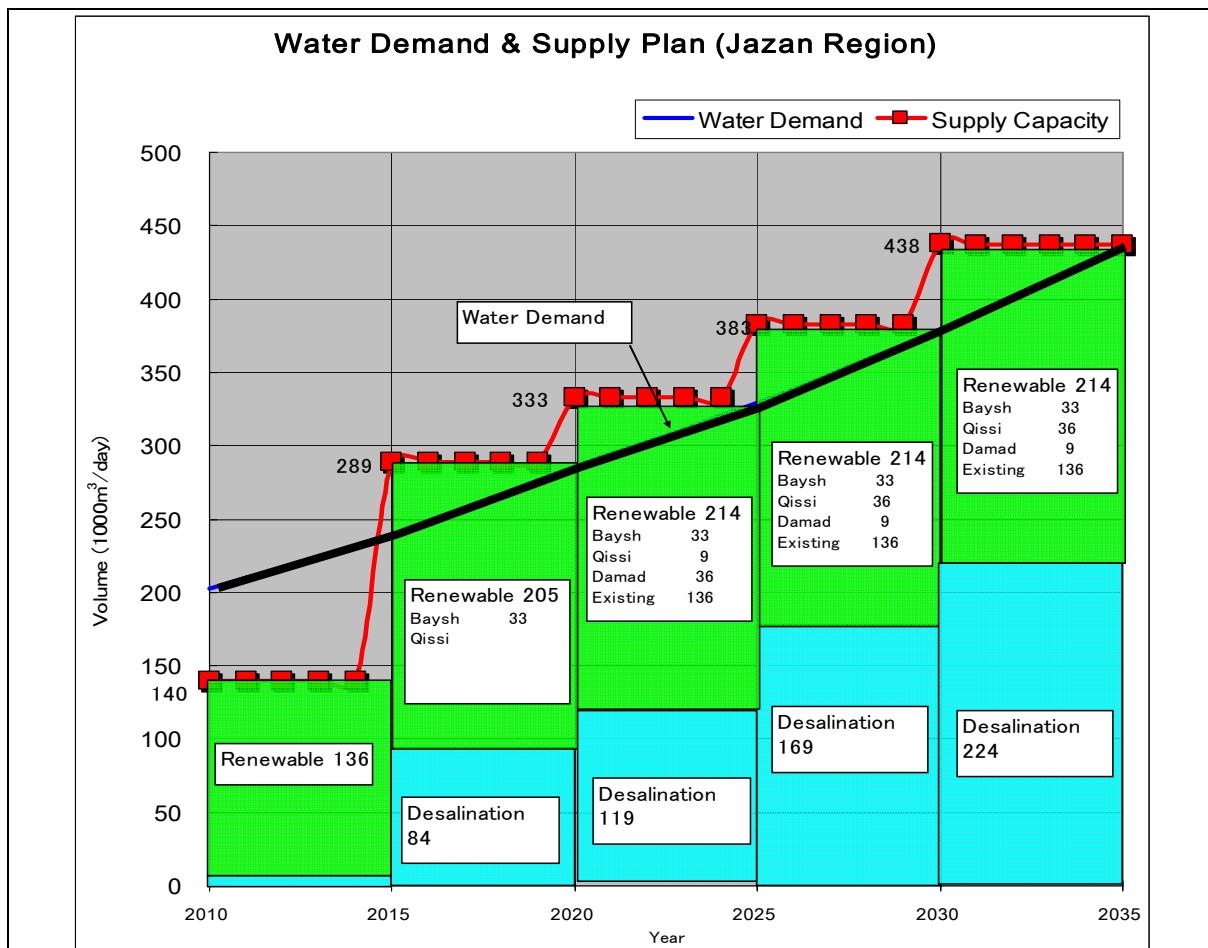


図 6-8 Jazan 州の水需要供給計画(2011-2035)

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、2010 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。Bash 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。

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。

<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。

<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。

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。

<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。

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。

6.5 水需要の管理

6.5.1 都市用水

(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。

「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“3 R”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、「“3 R”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。

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、いったん良い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。また、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。

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。

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。

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。

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。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。

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。

(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。

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 6-11 に示すとおりとなる。

表 6-11 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） (1000m ³ /日)	2,278	135	648	436	178
給水原単位 10%低減時 需要 (1000m ³ /日)	2,065	118	585	389	160
需要削減量(1000m ³ /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： 1000m ³ /日）	Rabigh (44) Maruwani (36) Al Lith (16) Yiba (38) (合計 144)	Nilah (11) Al Jabin (5) (合計 16)	Ranya (68) Hirjab (9) Tabalah (16) Baysh (25) Qanunah (30) Hali (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 7.2SR/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。

*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水化より安価であるから、ダム開発を優先させると、結局海水淡水化水の生産量の縮減が、財政の負担軽減となる。

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 6-12 に示すとおりとなる。

表 6-12 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 Jabin (5) (合計 16)	Ranya (68) Hirjab (9) Tabalah (16) Baysh (25) Qanunah (30) Hali (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。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、結局海水淡水化水の生産量の縮減が、財政の負担軽減となる。

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 6-13 に示すとおりとなる。

表 6-13 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 Jabin (5) (合計 16)	Ranya (68) Hirjab (9) Tabalah (16) Baysh (25) Qanunah (30) Hal (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。

(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。

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、計画的かつ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の徹底

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) 農業用水需要の管理

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。

2) 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 年まで一定である。
- ◆ 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。

3) 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)

<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 Al Janub、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。

<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 m^3 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。

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。

(5) 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 Riyadh 州、Al Qassim 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ので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えず、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、「サ」国では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。

6.6 運営維持管理計画

6.6.1 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。

- ◆ Al Baha 州、Asir 州、Jazan 州の本 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、MOWE と 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。

(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った水資源を組み合

- 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。

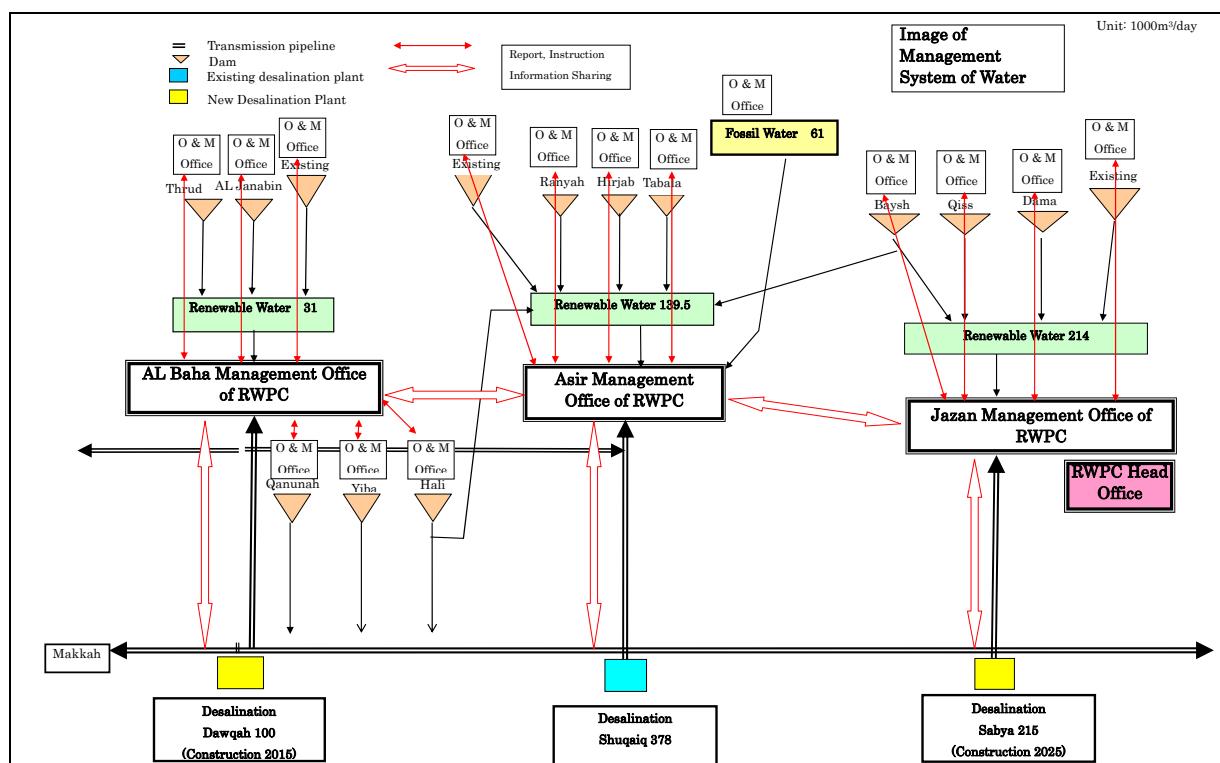


図 6-9 水資源管理所の配置イメージ図

6.6.2 ダムによる地下水涵養

(1) ダムと下流地下滞水層との連携によるワジ表流水の開発

表 6-11 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滞水層との連携でワジの水資源開発が必要となる。

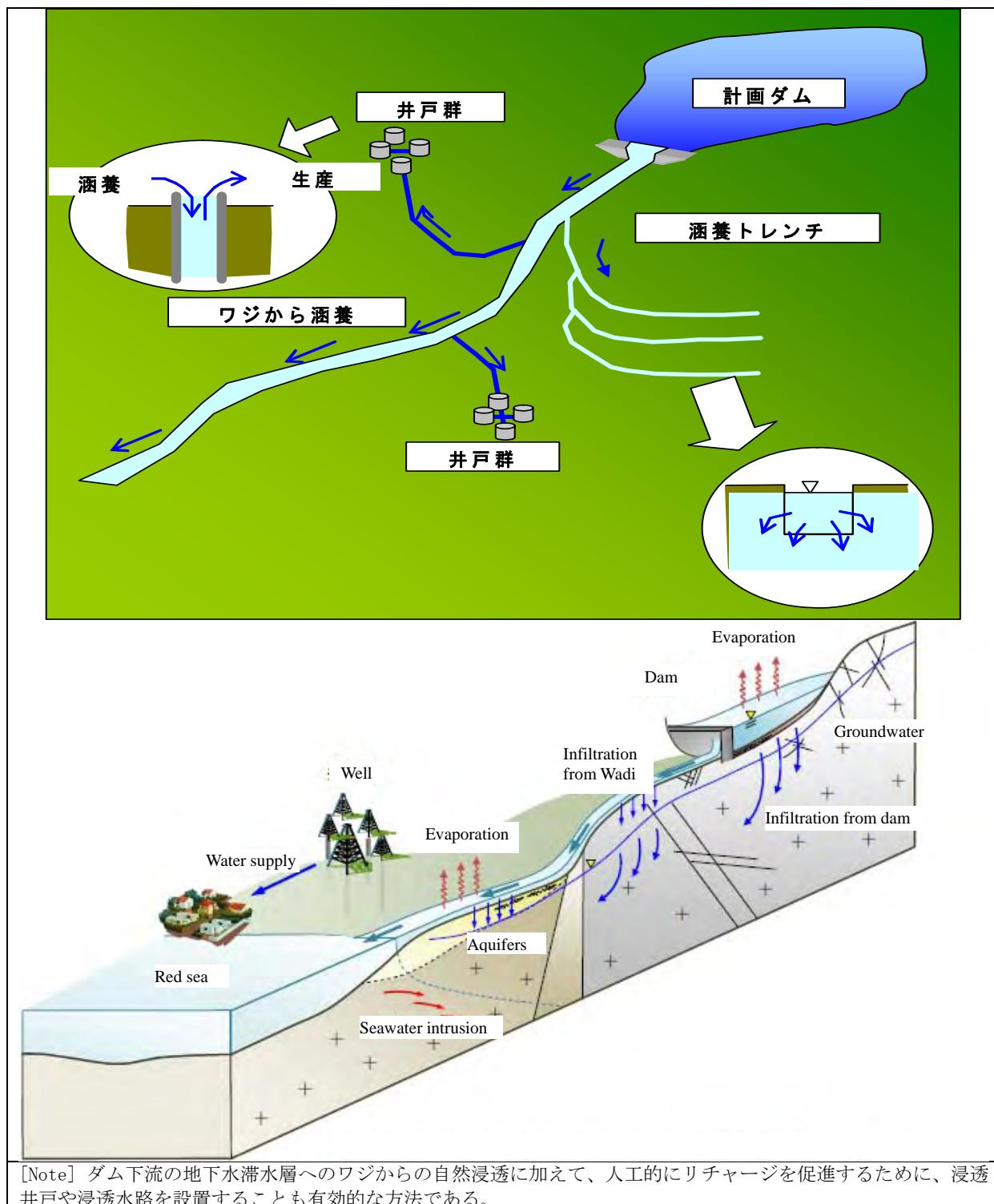


図 6-10 ダムと下流地下滞水層との連携によるワジ表流水の開発

(2) 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、ダムの容量と地下滯水層の貯水容量（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滯水層への浸透ロス（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。

(3) 開発流量の検討結果

表 6-14 は、合計容量 ($V_3 = \text{ダム貯水池容量} + \text{下流地下滯水層容量}$) と開発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と、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) 滞水層の初期条件として貯流量をゼロとしていること、2) 滞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と思われる。いずれにしても、ダムと下流滯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 6-14 下流地下滯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%
Hir jab	4.6	16.8	0.3	3.4	20%	5.9	35%	7.4	44%	8.4	50%	10.9	65%
Jazan	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

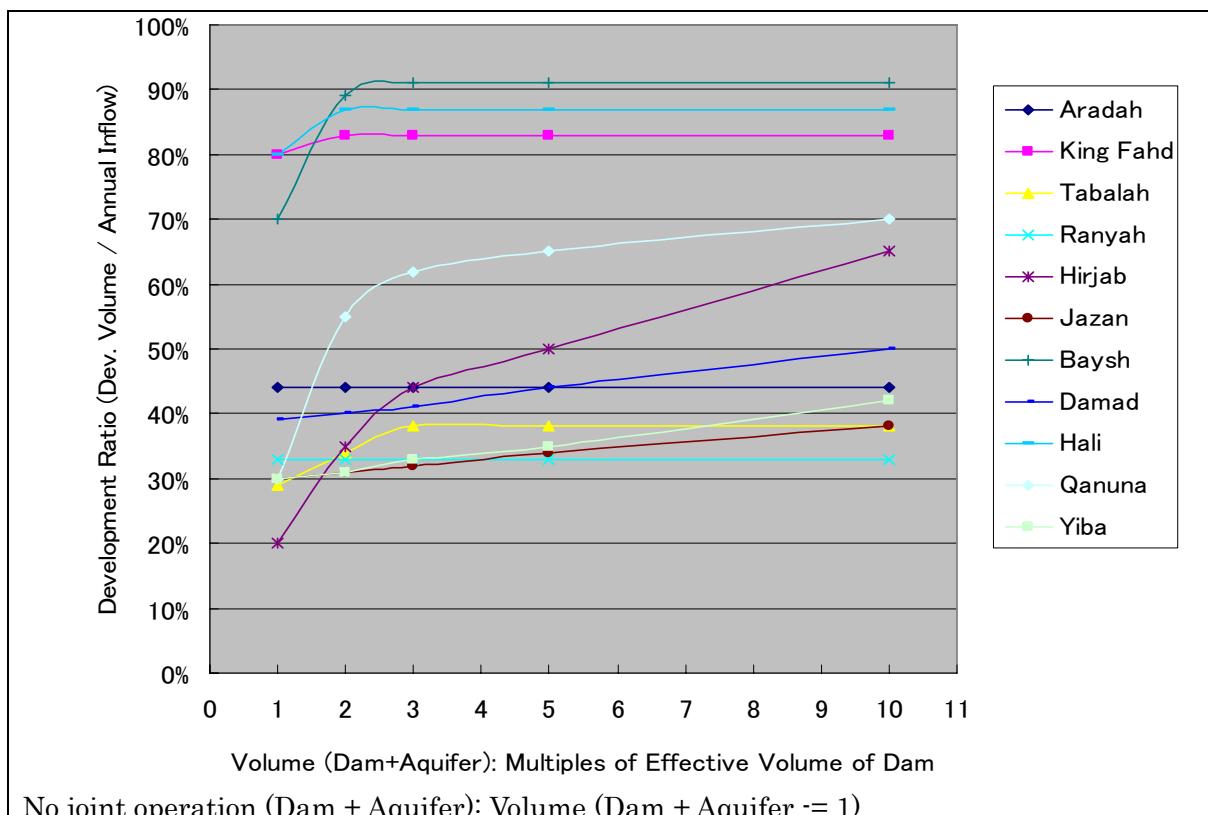


図 6-11 下流地下滯水層と連携した主要ダムの開発水量の変化

(4) リチャージダムと連携した地下水の開発

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

流量規模

地下水涵養量はワジ流量規模に依存する。大規模な洪水は地下水利用域より更に下流域まで到達する。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。逆に土壤が湿潤状態にあれば、浸透した地下水は容易に地下水面上に到達する。土壤の湿潤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潤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。

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6-15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 6-15 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 : 潜養ダム位置の流量($\text{m}^3/\text{日}$)

V_x : 潜養ダムから $X(\text{km})$ 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河道浸透量(%)との関係が図 6-12 のごとく示される。

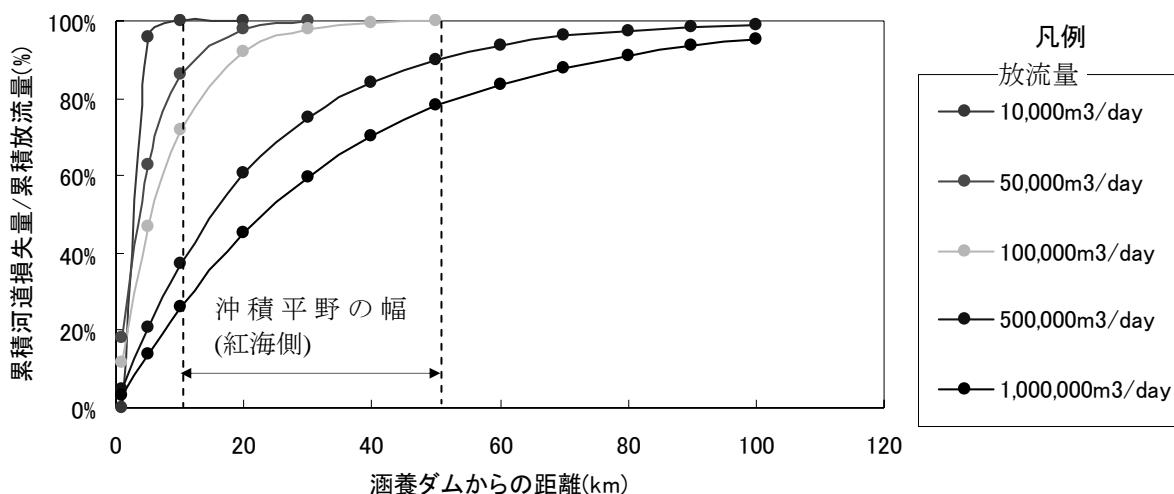


図 6-12 ワジ河道浸透率(%)と到達距離の例 (Wheater 式)

図 6-12 から、例えば紅海側流域ではダムからの放流量が $500,000\text{m}^3/\text{日}$ 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。調査地域における河道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。

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

TL : 河道浸透($\times 106\text{m}^3/\text{日}$)

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

T : 前回の放流から今回の放流までの経過日数(日)

図 6-13 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。

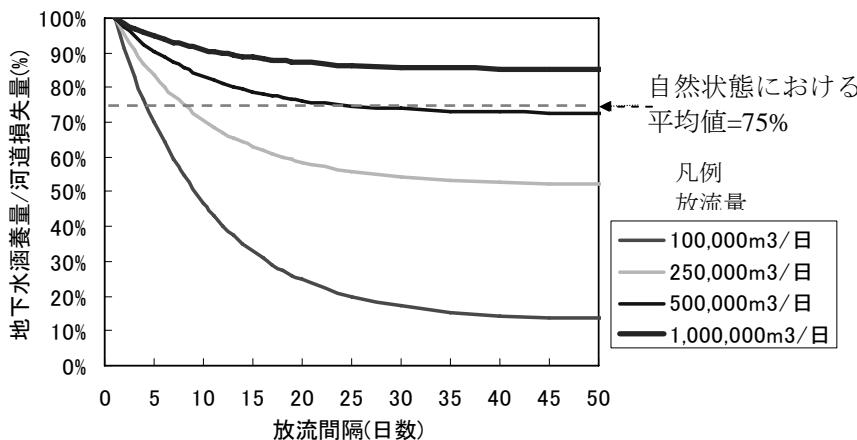


図 6-13 放流間隔と地下水涵養効率との関係

(5) ワジにおける地下水涵養

本調査における水収支解析の結果から、自然状態における河道浸透率と無効放流は表 6-16 に示す通りである。調査域全体として、自然状態における河道浸透率は 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 州を除けば河道浸透率は 4%～22%である。一方、Jazan 州では自然状態における河道浸透率は 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 6-16 自然状態におけるワジの河道浸透と無効放流

流域	山地から沖積平野へのワジ流入量(MCM)	無効流量		河道浸透率(%)	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%
	Jazan	299	44	—	85%
内陸側	Makkah/Asir/Jazan/Najran	281	—	271	4%
	全 体	1193	795	67%	33

(6) ダムによる河道浸透量の増加量

涵養ダムによる河道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。代表的な既存ダムを選定し、流況改善による河道浸透量の増加分を算定した。

<算定方法>

ダム流況改善効果による河道浸透量の増大量を求めその結果を表 6-17 に示す。涵養ダムによる流況の改善によって、河道浸透量は 17-40%増加することが分かることである。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、これを最大河道浸透量($m^3/\text{日}$)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、これを河道浸透量($m^3/\text{日}$)とした。ただし、この河道浸透量が最大河道浸透量($m^3/\text{日}$)より大きい場合は、最大河道浸透量を河道浸透量とした。
- ◆ 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」の河道浸透量に関しては、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」の河道浸透量とした。
- ◆ 「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 6-17 ダムごとの最大河道浸透量の推定値

ダム名	ワジ幅(m) (W)	河道浸透能 (mm/時) (C)	最大河道浸透量			河道浸透量 の増大 (%)	
			紅海側流域		最大河道浸透量 (1000m ³ /日)		
			海までの距離 (km)	内陸側流域 地下水利用域下端までの距離 (km)			
Turbah	100	50	-	30	3,600	32%	
Maruwani	100		59	-	7,080	38%	
Aqiq	50		-	17	1,020	25%	
Ardah	50		-	7	420	34%	
Tanduhah	50		-	20	1,200	20%	
King Fahd	150		-	42	7,560	27%	
Tabalah	100		-	66	7,920	17%	
Jizan	100		45	-	5,400	23%	
Baysh	150		73	-	13,140	16%	
Najran	50		-	66	3,960	40%	

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。

6.6.3 モニタリング計画

(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、P.M.E所管:10観測所)がある。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。

(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 6-18 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 6-19 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。

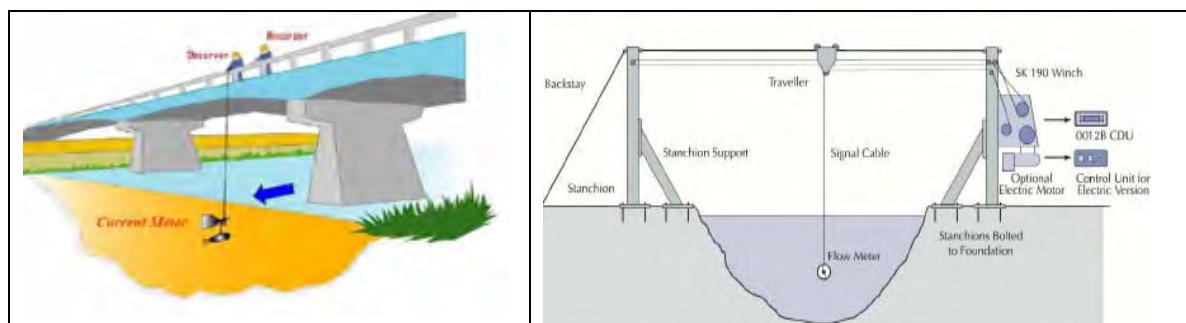


図 6-14 プロペラ式とケーブル式流速計設置状況

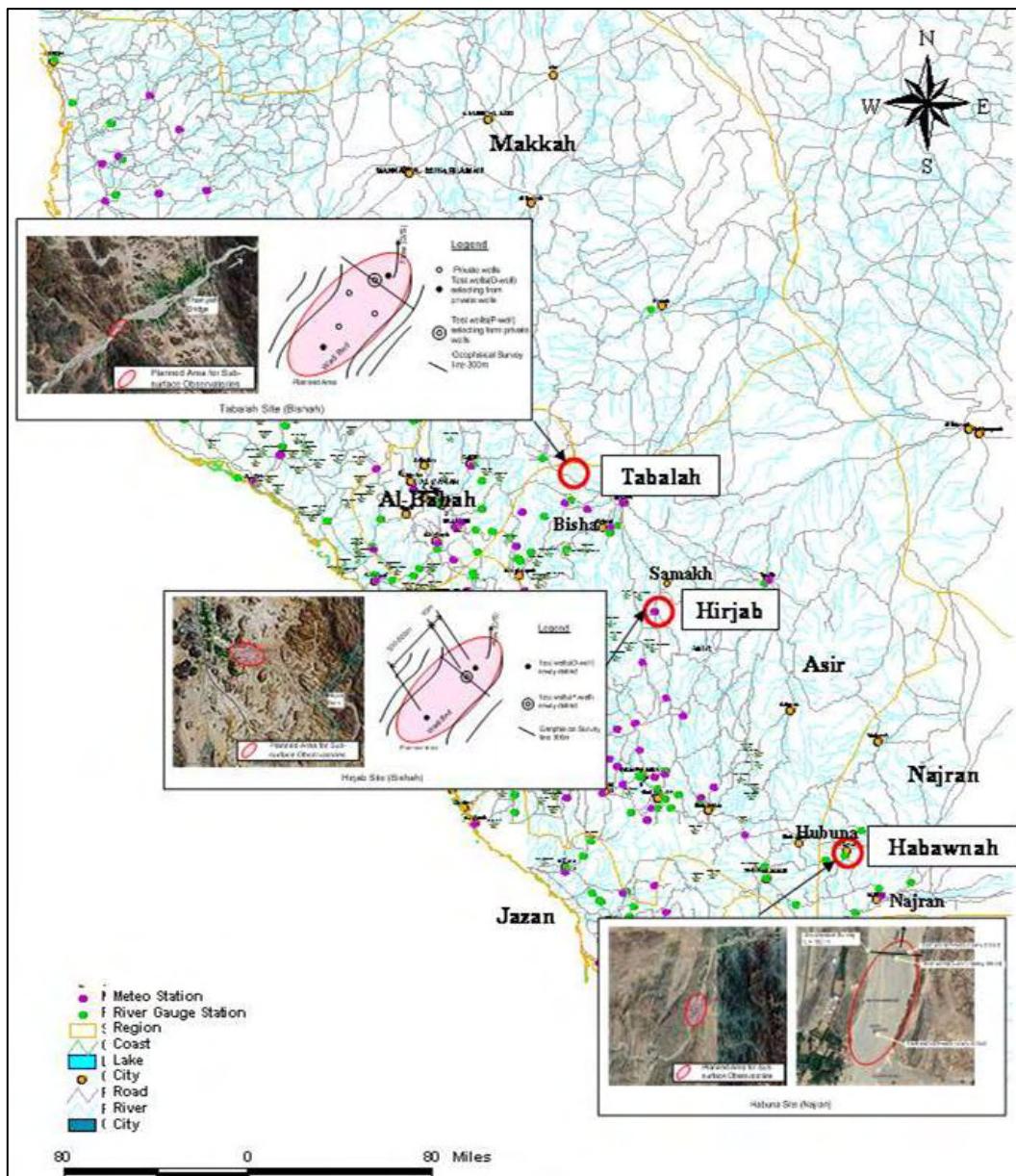


図 6-15 水位、流量モニタリングの位置

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。

(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。

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。

地下水の管理に関しては、以下の 2 点が重要である。

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。

揚水量を削減する

過剰揚水は、州中部～南部に位置する Samtah、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。

6.6.4 水資源の保全

(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。

(2) 地下水の保全

地下水を保全するために、健全な水収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。過剰な揚水は水収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

6.6.5 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 6-16 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、各自で取水・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。

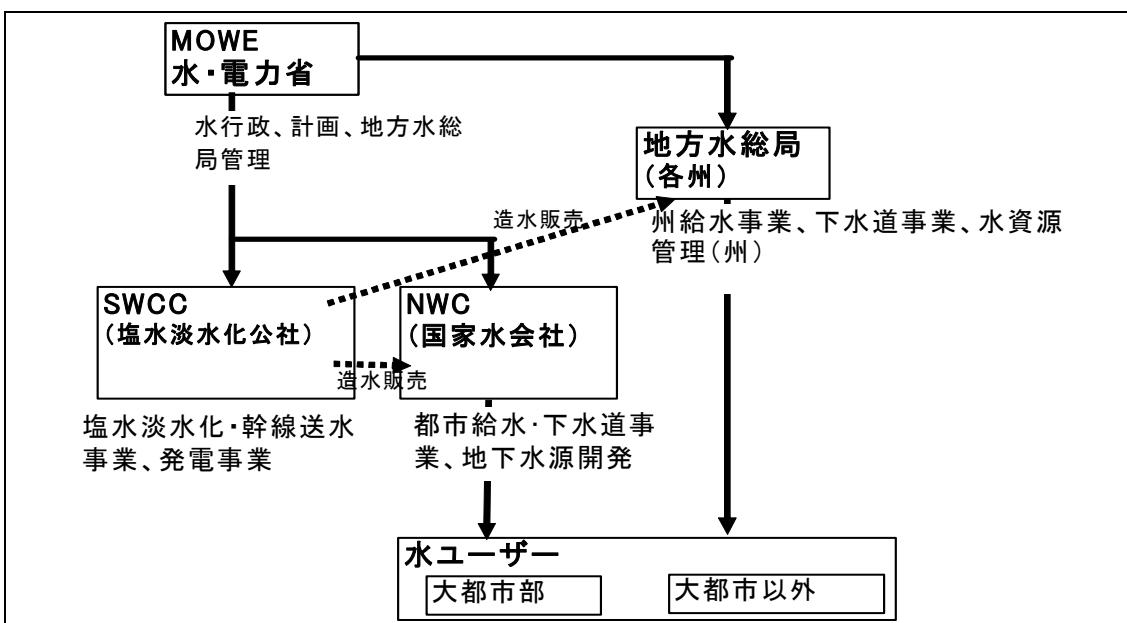


図 6-16 水行政組織（現行）

(1) 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。

- 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

(2) 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針に基づき、水分野に関し、水政策に基づく水行政の計画立案、下部機関の管理、上水道・下水道事業実施の指導、大規模施設の計画から建設事業の管理を行う。また、水資源の開発利用に関する州にまたがる広域的、重要な事業にかかる州間の調整を行うものとする。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 の監督のもとで塩水淡化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、Khmisshtayt 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 NNWRC 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。

- ◆ NWRC 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

(3) 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。この組

織は、農業セクターの事業実施機関と考えられる。この事業である農業用水の供給等に関しては MOA（本省及び地方事務所）の監督のもとで実施する。

<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（農業協同組合設立を含む）
- ◆ 農業用水の減水化事業（節水作物への転換事業、節水施設建設事業など）
- ◆ 協同水管理移行事業

(4) 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。

(5) 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。NNWRC 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、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。

6.6.6 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。

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。

6.6.7 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ベ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。

6.7 建設費の積算と実施工程

6.7.1 給水施設の計画

施設計画は、第 3 章で検討した水需要計画に基づき立案する。ダムを除く主要施設の計画諸元（導水量、生産量、開発量等）を表 6-20 に、ダム施設の諸元を表 6-21 に示す。

表 6-20 給水計画における主要施設の計画諸元

Region	Facilities	Facilities/Quantity	Dimensions (Quantity)
Al Baha	Transmission Pipeline	Section A Desalination (Dawqah ~ Al Baha)	Supply: 70,000 m ³ /day
		Section B Renewable (Hali ~ Dawqah)	: 70,000 m ³ /day
	Booster Pump	4 Units	Capacity: 2.7 Kw (1), 6.9 Kw (1) 6.0 Kw (2)
	Reservoir	5 Reservoirs	Volume: 400,000 m ³ (1) Volume: 100,000 m ³ (4)
	Desalination Plants	Shuaibah (Existing)	Production: 40,000 m ³ /day
		Dawqah Plant (Stage 1)	: 75,000
		(Stage 2)	: 25,000
Asir	Transmission Pipeline	Section D (Shuqaiq~Abha)	Supply: 146,000 m ³ /day
		Section E (Shuqaiq~Al Birk)	10,000
		Section H (Abha ~ AL Janabin)	19,000
		Section G (Abha ~ AL Alayah)	40,000
		Section C (Al Baha - Al Alayah)	65,000
		Section I (Al Alayah - Bisha)	65,000
	Desalination Plant	Shuqaiq Extension (Stage 2)	Production: 238,000 m ³ /day
		Section J Stage 1 Pipeline	Supply: 29,000
		Well	Production : 29,000 m ³ /day
		Stage 2	
		Well	Production : 32,000
Jazan	Transmission Pipelines	Section F Shuqaiq(UKAD) ~ Samtah(Jazan)	Production: 160,000 m ³ /day
		Sabya (new) stage 1	35,000
	Desalination Plants (New)	Stage 2	160,000
		Stage 3	55,000

表 6-21 ダム諸元

Region	Name of Dam	Catchment Area	Length	Height	Capacity	Development Water
		(km ²)	(m)	(m)	(1000m ³)	(m ³ /day)
Makkah	Hali	4,843	384	95	249.6	35,000
	Qanunah	2,310	385	50	79.2	30,000
	Yiba	2,242	284	64	80.9	38,000
Al Baha	Al Janabin	-	592	55	55.5	5,000
	Nilah-Qiwlah	-	-	-	-	11,000
	Tabalah	863	396	40	68,410.0	16,000
Jazan	Hirjab	600	-	-	-	9,000
	Ranyah	4,375	-	-	-	68,000
	Baysh	7,600	340	106	193.6	58,000
	Damad	1,000	154	28	55.5	36,000
	Qissi	272	1044	25	151.0	9,000

上記の施設整備の位置図を以下の図 6-17 に示す。

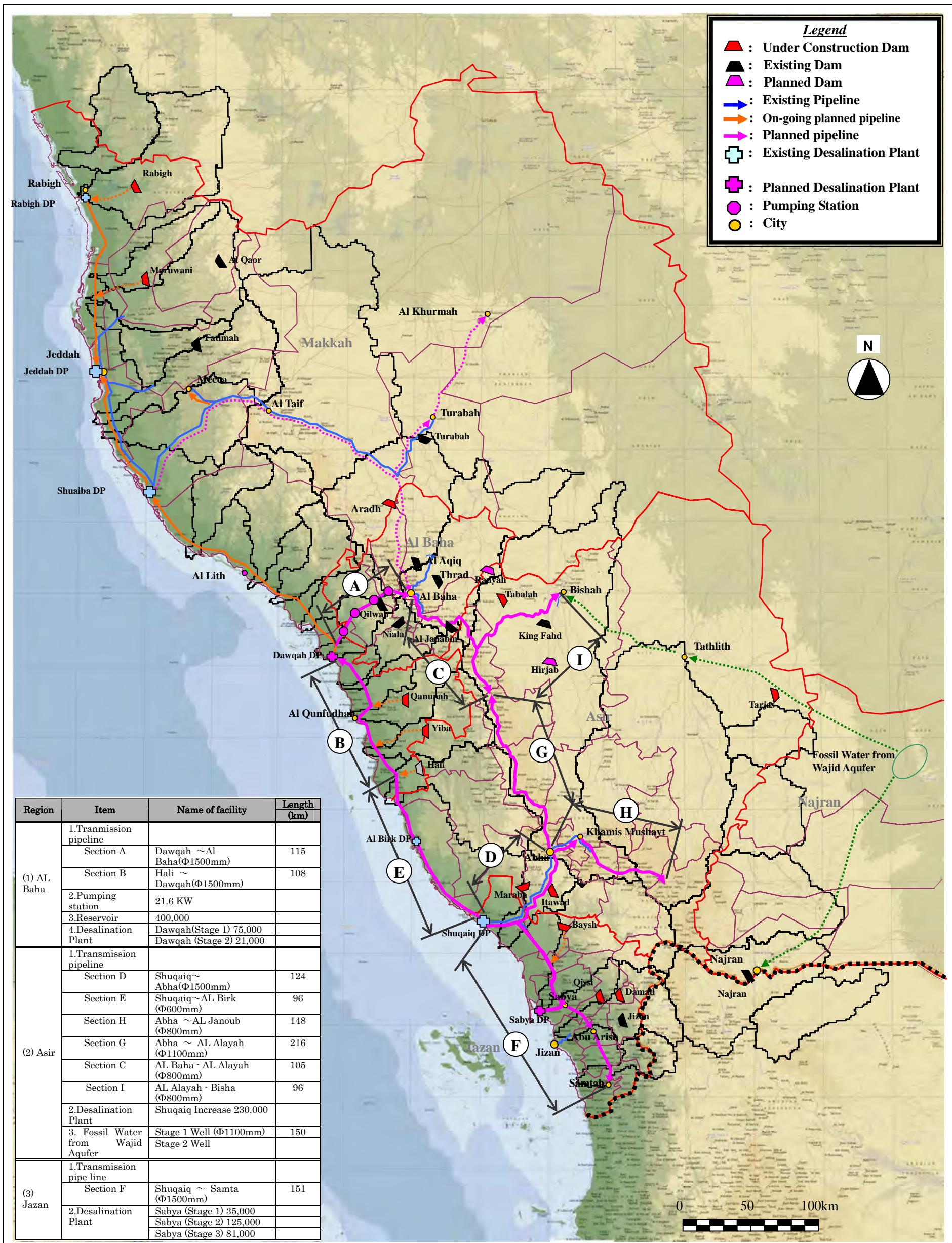


図 6-17 Al Baha 州・Asir 州・Jazan 州の主要給水施設図

6.7.2 建設費の積算

M/P で提案した施設について、建設数量と単価により建設費を算定した。なお、ダムについては、Ranyah ダム及び Hirjab ダムを除いて既に発注済みであることから建設費からは除いている。以上をとりまとめた期間別の建設費を以下に示す。

表 6-22 M/P に係る施設の建設費 (Million SR)

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

維持管理費については、同様に、2010 年～2015 年の期間が最も多くなっている。

表 6-23 M/P に係る施設の年間維持管理費 (Million SR/年)

州	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	Total
Al Baha	17	43	43	43	43	43
Asir	81	120	131	138	138	148
Jazan	102	114	158	187	187	187
Total	130	207	262	298	298	298

6.7.3 実施工程

M/P で提案している水供給施設の建設実施工程を表 6-24 に示す。

表 6-24 水供給施設の実施工程

Region	Facility	Section or Location Name	Construction Period (Water volume 10 ⁹ m ³)	2006-10	2011-15	2016-20	2021-25	2026-30	2031-35	Remarks
AL Baha	Transmission line	Dawqah - AlBaha	2011-2030 (135)		70	135	135	135		
		Hali-Dawqah	2011-2015 (75)		75					
		AL Baha - AL Alayah	2016-2020 (65)			65				
	Desalination	Shuaibah	2006-2015 (40)	40	0					Return to Makkah
		Dawqah Plant	2016-2030 (96)			75	75	100		
	Renewable Water	Existing	2011-2015 (19)		19					
		Hali Dam	2011-2015 (35)		35	0				Return to Makkah
		Qanunah Dma	2011-2015 (30)		30	0				Return to Makkah
		Yiba Dam	2011-2015 (38-0)		38	0				Return to Makkah
		Al Janabin Dam	2011-2015 (5)		5					
		Nilah & Qilwah Dam	2011-2015 (11)		11					
Asir	Transmission line	Shuqaiq - Abha	2006-2025 (313)	82	238	238	313			
		Shuqaiq - AL Birk	2016-2020 (10)			10				
		Abha - Al Alayan	2016-2020 (40)			40				
		Abha - Al Janoub	2021-2025 (19)				19			
		AL Baha - AL Alayah	2016-2020 (65)			65				
		AL Alayan - Bisha	2016-2020 (65)			65				
	Desalination	Shuqaiq	2006-2025 (313)	82	238	238	313			
		Fossil water	2016-2025 (32)		29	29	61			
	Dam	Existing	2006-2010 (57)	57						
		Baysh	2011-2015 (25)		25					
		Hali	2011-2015 (35)		35					
		Tabalah	2011-2015 (16)		16					
		Hirjab	2016-2020 (9)			9				
		Ranyah	2016-2020 (68)			68				
Jizan	Transmission line	UKAD-Samtah	2011-2015 (75)		75					
	Dam	Baysh	2011-2015 (33)		33					
		Damad	2011-2015 (36)		36					
		Qissi	2016-2020 (9)			9				
	Desalination	Shuqaiq	2006-2025 (75)	3	75	75	0			No use in 2025
		Sabya	2016-2030 (206)			35	160	215		

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

6.8 水マスタープラン(M/P)の評価

6.8.1 技術的評価

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

- ◆ 計画立案に用いた社会・経済条件、自然条件、環境条件、水利用条件等の関連情報は、「サ」国政府や州の保有する資料に基づいて吟味し、さらに対象州においては、ステークホルダー協議を実施することにより、水問題の把握に努めた。M/Pについては、住民意見を聴取し、プランの策定に反映した。計画立案検討に必要な計画・設計、調査基準としては、「サ」国政府の定める基準を用いている。
- ◆ 水需要に関する長期的な3州全体の人口予測については、全国平均の人口増加率(2.6%)に対する各州の増加率の比率を用いることにより推計している。基本ケースは、MOWEで実施されているプロジェクトで適用されている国家経済計画省(MOEP)の予測値である。
- ◆ 都市用水の需要予測に当たっては、MOWEの基本給水シナリオに基づいて給水原単位、漏水率を設定した。水道普及率は、都市規模により普及率が異なることから、大都市、都市、地方コミュニティに区分して設定した。
- ◆ 農業用水については、再生可能水が量的に不足していることから、非在来型水資源である、下水処理水を再生して有効に使用することや節水型の近代かんがい技術の導入等による需要管理が重要な提案を行った。これらの施策で、Al Baha州、Asir州では、2007年レベルでの作付が可能となった。Jazan州については、作付面積に対して、再生可能水が不足し、再生可能水資源ポテンシャルに見合うまでの作付面積の削減が必要となった。検討では、穀類の削減、飼料作物の作付中止により生み出された水資源量を優先的に野菜と果樹栽培に配分し、残りは州の代表的作物であるソルガム栽培に割振る計画とした。その結果、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こととなった。
- ◆ 持続可能な水資源開発を達成するため、在来型水資源の開発手法としては、大型貯留ダムによる表流水開発、ダムと下流帯水層の連携による表流水、地下水の開発、リチャージダムを利用した地下水開発を提案した。調査団による検討の結果、いずれの案も地域的、水文的な特徴によりその効果は異なるものの、適切な運営管理を行うことにより、大きな開発量の開発できることがわかった。
- ◆ 非在来型の水資源開発では、淡水化水のプラントの延伸が計画されており、2035年の計画目標に対する都市用水供給量は、Al Baha州で70%、Asir州、Jazan州で50%程度となっている。今後、詳細な検討が必要であるが、送水コストを含む経済性からの観点から、需要地に近い紅海沿いに新規の淡水化プラントの建設、計画をすることが有利と考えられる。
- ◆ 下水再生水については、都市用水、工業用水としては、利用が限定されるが、農業用水としては、再利用率が80%程度以上と効率的な再生処理が可能な段階となっており、積極的な利用が望まれる。特に、高原都市である、Al Baha州、Asir州の都市では、分散型の下水処理システムの採用により、再利用率を高め、有効に利用することが可能となる。Jazan州については、現行の利用率が低いことから、都市部での利用率を高める下水処理システムの計画、検討が必要である。
- ◆ 管理組織としては、総合水管理の中核となる、再生可能水生産公社(RWPC)の新設を提案している。この際の管理の基本は、再生可能水資源、海水淡水化水、下水再生水、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、経済的な水管理を行うことをものである。なお、州内の水資源は、それぞれの州が管理するものとし、需給が逼迫する場合は、州を超えた水管線をこの組織が実施していくものとする。
- ◆ 需要管理としては、「水の3R」により、節約(Reduce)、再生利用(Reuse)、循環利用(Recycle)等のキャンペーン活動、適正な水道料金の徴収、節水機器の導入、さらには、これらを実施していくための研修計画、組織改革等が必要である。これらの啓蒙活動、意識向上活動により、一人当たりの水利用量を減少させていくことが必要である。

提案された3州のM/Pは、将来の予測人口や経済成長に基づいて2035年を目標に、上述のような

技術的な根拠のもとに作成されたものである。この意味で、社会・経済の実態や水文情報の集積に応じて計画を見直し、必要に応じて改定すべきである。

6.8.2 経済、財務評価

水 M/P で示された、海水淡水化プラント、井戸、ダムを用いた都市用水と工業用水の総合給水計画について、経済・財務分析を行った。

(1) 基礎諸元

経済・財務分析に用いた基礎諸元を次表に示す。

表 6-25 経済・財務分析の基礎諸元

項目	諸元
1. 価格	2010 年 1 月時点の価格
2. 為替レート	SAR 1 = USD 0.2673
3. 変換係数	120 %
4. 資本の機会費用	6.5 %
5. 評価年数	30 年
6. 経済耐用年数	
1) 海水淡水化プラント	25 年
2) 送水施設	25 年
3) 深井戸	25 年
4) ダム	80 年

1) インフレの調整

最近 10 年間の物価上昇率は約 21% であり、消費者物価は 2001 年まで一旦下がり、その後上昇している。経済・財務分析の基準年は 2009 年（＝事業開始 0 年目）とし、下述する海水淡水化の過去のコストは各年のインフレ変換係数を用いて、2009 年時点の価値に変換した。

2) 変換係数

原油価格を抑制するために多額の補助金が用いられていることから、事業費の経済価格への変換においては、燃料費の国際価格を考慮した。指標としてガソリンの小売価格を用いて、燃料費が補助金によって 1/3 に抑えられていると推定した。

事業費に占める燃料費の割合を 10% と仮定し、この燃料費の 10% を 3 倍にすることにより（10% × 3 + 90%）、市場価格から経済価格への変換係数を 120% と設定した。

ガソリンの補助金割合については、世界価格の指標とされるアメリカのガソリン価格（2009 年第 2 四半期）50 円/lit¹ から税金分 29%² を除いた 36 円/lit を国際価格とした。「サ」国のガソリン価格については同時期のリヤドでの小売価格 12 円/lit を用いて、「サ」国の燃料費は 24 円/lit（およそ 67%）の補助金によって 1/3 に抑えられていると推定した。

3) 資本の機会費用

資本の機会費用については、SWCC の参考基準が 5~7%、NWC が 6~8% であることから、5~8% の中間値、6.5% に設定した。2004~2008 年の中央銀行の平均貸出利率は 4.0% であり、2006 年が最大値 5.3% となっていることからも、6% 台の設定は適当と考えられる。

4) 計画施設の経済耐用年数

耐用年数は上表の各年数を適用した。

¹ 出典：IEA「エネルギー価格と税」

² 個別間接税 23.2% + 小売売上税 5.7% = 29%。小売売上税は州毎に設定されており、最大値 8.5% と最小値 2.9% の平均値として 5.7% を用いた。

(2) 開発計画の水の価値

1) 水の財務的価値

2009年の世銀のレポートから料金構成の料金帯毎の使用量割合を把握することができることから、財務分析においては水道料金の加重平均値を用いることとした。

次表では料金帯毎の使用量割合を使って、加重平均した水道料金が0.40 SR/m³であることが示されている。水開発計画の実施により得られる水の財務的価値として、この水単価を適用した。

表 6-26 水道料金の加重平均値の推定

m ³ /month	Band	Price 1) (SR/m ³)	Proportion 2) (%)	Partial price (SR/m ³)
		A	b	a*b
< 50	A	0.10	60	0.06
50 - 100	B	0.15	25	0.04
100 - 200	C	2.00	15	0.30
200 - 300	D	4.00	-	-
> 300	E	6.00	-	-
Weighted mean of water tariff (Financial water price)				0.40

1) NWC, 2010

2) Estimation from Fig. Riyadh Residential Water Consumption and Tariff, *Proposal for a National Water Strategy*, June 2009, WB

2) 水の経済的価値

仮に水開発計画が実施されない場合、水開発の最も経済的で現実的な代替手段は海水淡化プラントの利用である。脱塩水のコストは、SWCCの実績値とインフレ変換係数を用いて推定した。

基本的に地下水利用を制限する対象州においては、脱塩水の合計コストは（井戸水より割高であるが、）水開発の最も経済的手段であり、水の社会的費用と考えられる。従って4.16 SR/m³の水価に経済価格への変換係数120%を乗じて、経済分析における水の経済的価値として適用した。

表 6-27 脱塩水のコストの推定

Year	Conversion coefficient	Water production cost - SWCC plants (SR/CM)		Water transmission cost - West coast (SR/CM)		Total (SR/CM)
	a	b	c=a*b	d	e=a*d	f=c+e
2004	1.220	2.25	2.75	1.20	1.46	4.21
2005	1.212	2.35	2.85	1.19	1.44	4.29
2006	1.186	2.23	2.64	1.18	1.40	4.04
2007	1.139	2.27	2.58	1.33	1.51	4.10
2008	1.036	2.38	2.47	1.61	1.67	4.13
Average		2.30	2.66	1.30	1.50	4.16

Source: 2008 Annual Report for Operation & Maintenance, SWCC

便益の算定根拠を次表に整理する。

表 6-28 便益の算定根拠

便 益	諸 元	備 考	出 所
都市用水	0.40 SR/m ³	水の財務的価値	水道料金
都市用水	4.99 SR/m ³	代替方(海水淡化)による水の経済的価値	SWCCの運営・維持管理報告

(3) 水開発計画の費用

1) 事業費の概要

水開発のために必要な施設計画が作られ、支出時期を含む事業費案が提案された。この提案に基づき、次表に各施設の建設費と年間の運転・維持管理費を整理した。建設費の6割以上は送水施設で占められており、海水淡化プラントと合わせると75%を超える。年間の運転・維持管理費では海水淡化プラントが6割以上を占めており、送水施設と合わせると92%を超える。

表 6-29 水開発計画の事業費概要

Proposed facilities	Al Baha (MSR)	Asir (MSR)	Jazan (MSR)	Three regions (MSR)	Proportion (%)
Construction Cost					
Desalination plant	134.4	322.0	337.4	793.8	12.0
Transmission facility	1,247.3	2,228.6	709.7	4,185.6	63.2
Deep well	-	648	-	647.9	9.8
Dam	456	151.9	381.9	989.9	15.0
Total	1,837.8	3,350.4	1,429.0	6,617.1	100.0
Annual O&M Cost					
Desalination plant	33.6	80.5	84.4	198.5	66.4
Transmission facility	17.0	49.5	10.6	77.2	25.8
Deep well	-	18.5	-	18.5	6.2
Dam	2.3	0.8	1.9	4.9	1.6
Total	52.9	149.2	96.9	299.0	100.0

財務コストと経済コストを次表に整理する。

表 6-30 事業コスト (MSR)

事業コスト	建設費				年間運営・維持管理費			
	Al Baha	Asir	Jazan	Total	Al Baha	Asir	Jazan	Total
財務コスト	1,838	3,350	1,429	6,617	52.9	149.2	96.9	299.0
経済コスト	2,205	4,020	1,715	7,941	63.5	179.0	116.3	358.8

2) 事業費の支出計画

水開発分野のほとんどの既存施設がおよそ 5 年間で建設されていることから、提案された施設の建設期間は一律、供用開始前の 5 年間と仮定した。そして、5 分の 1 の建設費が均等に建設期間の各年に計上されている。年間の運転・維持管理費は施設のタイプ別に、建設費に対する経験率を用いて推定され、耐用期間の各年に均等に計上した。

(4) 経済・財務分析の結果

1) 財務分析の結果

水道料金収入を水開発計画の便益に適用して財務分析を行った。6.5%で割引いた便益・費用比率は 0.10 である。勿論この結果は水道料金の低い設定によるものである。現在の水道料金構造のままで、水道料金によって全ての費用を賄うためには、現在の料金レベルをおよそ 10 倍にしなくてはならない。

2) 経済分析の結果

表 6-31 経済分析の結果

評価項目	水開発計画
経済内部收益率	6.8 %
便益・費用比率	1.02
純現在価値	158 MSR

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

6.8.3 社会、自然環境面からの評価

1) 社会経済活動への寄与

本 M/P は、将来の南西地域における水需要に対して、十分な供給量を確保することを目的として、

持続可能な再生可能水資源の統合的な開発及び維持管理、運営を計画するものである。

本 M/P の実施は、直接的には都市用水、工業用水等の各種用水の供給や水利権の確立、また間接的には地域の保健衛生の改善や地域経済の発展が見込まれる等、地域社会経済の改善に寄与するものである。

2) 水 M/P 実施計画施設と自然保護区との関係

本 M/P の対象区域内には、Jabar Shada 保護区及びRaydah 保護区の 2 保護区が立地している。しかし、本 M/P の主要な施設であるダム、パイプライン、淡水化プラントは、これらの保護区を避けて計画されているため、直接改変等の大きな環境への影響は予見されない。

3) 自然環境面での影響と緩和策

本 M/P では、調査団は新規にダム、パイプライン及び淡水化施設の建設を提案しており、これらの施設に対して、初期環境影響評価(IEE) レベルで環境社会配慮調査を実施した。

現段階では、施設の詳細な位置や配置、規模や機能が確定されておらず、不確実性を多く含む予測であるが、地下水、流況、動植物、水質汚染及び騒音・振動等の環境要因について負の影響が及ぶ可能性が予測された。

しかし、施設の配置計画の詳細な検討や各種環境緩和策の実施により、環境への影響を軽減することが可能であると考えられる。

4) 代替案の検討

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

A 案: 本 M/P を実施しないゼロオプション

B 案: 本 M/P で計画された案

C 案: 本 M/P の代替案である淡水化施設のみによる水供給を行う案

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

5) 調査重点項目の提案

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

第7章 効 告

(1) 水マスタープラン(M/P)の実施

水 M/P は、国家開発 5 カ年計画、国家水戦略(National Water Strategy)等を上位計画として、水資源管理に関する基本戦略、政策、アクションプランの基に、在来型水資源と非在来型水資源を適切に開発、運営することにより、都市用水、工業用水、農業用水を供給し、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策定されたものである。

上記の目的を達成するために、2035 年を目標としたセクター別の社会経済フレームに基づき、合理的な水需給計画を提案した。水 M/P のとりまとめにあたっては、ステークホルダー協議を実施し、関係機関や住民等の意見を取り込んでいる。

提案された水 M/P では、今後に起こりうる水問題を想定して計画されており、提案された事業がそれに実施工程に従って実施されることを勧告する。

(2) 給水計画における対象ダムの計画給水量の確認

調査団は、本調査における水收支計算結果を用いて、5 ワジである、Ghoran、Naaman、Habga、Yabah、Khulab の流域についてのダム計画を立案したが、MOWE との協議の結果、これらのダムサイトは、将来の給水計画、水文条件、地形地質的条件等を考慮した場合、ダムサイトとしては、不適あるいは MOWE の開発計画としては考慮していないと判断された。従って、給水計画において開発対象としたダムは、すべて MOWE によって計画中あるいは建設中のダムである。

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

上記調査において、調査団は、ダムと下流ワジにおける地下水帯水層と連携した水資源開発方法の提案を行う。その手法としては、技術的な妥当性をより詳細に検討するため、表流水・地下水の相互関係を解析可能な 3 次元数値シミュレーションモデルを構築し、これにより、貯留可能な地下帯水層を評価し、地下水とワジを流れる表流水の関係把握を行うことを提案する。

さらには、回復不可能な地下水障害を生じさせない地下水の生産ポテンシャルの把握、様々な環境条件の変化に対する事業成立性の評価等へ資する基礎資料を整備することを提案する。

(3) 下水処理水の再利用の推進

本 M/P の対象州の主要都市の下水処理事業が、MOWE の管轄事業として進められている。本 M/P では、下水処理水の再利用ターゲットとして、都市の緑化水、冷却水としての産業利用および灌漑利用を提案している。この再利用ターゲットのうち灌漑利用が最も利用水量が多い。Al Baha 州や Asir 州では、現状の全灌漑流量の 1/5 (20%) から 1/4 (25%) に相当する流量である。

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

(4) 給水計画

給水計画は、家庭用水、産業用水を対象とし、水資源としては、表流水（再生可能水）、地下水（再生可能水）、海水淡水化水および深層化石水を対象とした。

海水淡水化水は、異常旱魃時の緊急対応時に最も有効な水資源である。現在、SWCC より、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。

本調査で明らかになった計画対象区域の再生可能水資源（表流水・浅層地下水）ポテンシャルや将来の水需要予測から、都市用水や工業用水の需要を充足するためには海水淡化化水事業の継続・拡張は不可欠である。

しかしながら、SWCC の海水淡化化水事業は、ダムによる再生水生産コストと比べて依然として 3 倍-4 倍ほど高いため、今後とも生産コストの低下を図るべきである。また、送水コストも高いことから、輸送距離の最小化を図るために、消費地にできるだけ近い地区に海水淡化化プラントの建設を計画すべきである。

本 M/P では、Makkah 州の Dawqah と Jazan 州の Sabya の 2ヶ所に海水淡化化プラント事業を提案している。引き続き、F/S の実施を勧告する。

(5) 都市用水における需要管理の実施

都市用水の需要管理として、水使用原単位の低減については、節水型機器の導入、料金体系の見直し、工場内の施設の節水機器更新、教育、啓蒙活動を提案した。また、漏水率の改善にかかる提案としては、老朽管路の早期更新、流量管理の促進、漏水診断技術の導入等を提案した。

上記の施策促進は、コストを要するものであるが、長期的な観点から、使用原単位 10%を減少した場合で、ダムによる水源開発が不要となるほどの効果が見られることから、財政的な削減効果が大きい。上記の需要管理施策を関連機関が一体となって実施すべきである。

(6) 農業における需要管理の実施

農業用水の水源は、再生可能水資源と下水再生水が主である。Al Baha 州、Asir 州においては、再生可能水資源と下水再生水でほぼ 2007 年レベルの作付が可能となる農業計画を立案できたが、全国第 3 位の農業生産高を示す Jazan 州では、再生可能水資源と下水再生水だけでは、供給量が不足した。農業における需要管理として、飼料作物、穀類のような単位使用水量の大きい作物から需要増が期待できる果樹、単位使用水量の小さい野菜への作付転換が最も現実的な施策と考えられる。

Jazan 州では、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。

(7) 総合水管理システムの運営・維持管理に関する調査の継続

水 M/P では、「管理の基本」として、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こと、広域ネットワークによる水融通を図ることを提案した。

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

(8) 総合水管理システムの紅海水ライフライン事業に関する調査の継続

M/P で提案した総合水管理システムの紅海水ライフライン事業(REWLIPI)は、海水淡化化プラントやダムの水資源施設をパイプラインで結び、Al Baha 州・Asir 州・Jazan 州の主要都市に給水を導水するシステムである。調査団は、「低廉な水を確保する経済的な観点」と「広域的に必要な水を融通・安定確保できる技術的な観点」に基づいて、この事業を提案している。

この事業は、海水淡化化プラント（2ヶ所の新規プラントを含む）、ダム群（既設と建設中を含み 10 基）および導水パイプライン網（約 1,300km）から成り立っている。この大型の水資源開発（再生可能水資源と海水淡化化水を同時に開発する）と 4 州にわたる広域導水システムは、「サ」国にとって初めてかつ重要なプロジェクトである。本 M/P では、ダムからの計画給水量として、MOWE の計画値が用いられていが、調査団の提案したように、ダムと下流帶水層との連携により、多くの再生可能水の開発が期待できる。この重要プロジェクトの F/S の実施を勧告する。