

第2章： 地下汽水淡水化開発戦略

1. 給水事業の現況

(1) 調査地域の概要

地下汽水開発戦略策定における給水対象地域はアンマン市を含む北部ジョルダンであり、下記の5つの州からなっている。この調査地域は、面積は全国の約50%であるが人口では90%を占め、ジョルダン国の社会・経済活動の主要な部分を含んでいる。

表 2. 1 調査地域の人口と面積および総生産*

州	州庁所在地	人口 (千人)	面積 (Km ²)	総生産 (1,000JD)
アンマン	アンマン市	1,777	9,300	145,690
ザルカ	ザルカ市	669	3,800	1,049
イルビット	イルビット市	1,041	2,600	10,120
マフラック	マフラック市	176	26,600	914
バルカ	サルト市	257	1,100	1,018
5州計		3,920	43,400	158,791
全国		4,328	90,000	172,517

* 面積は 1/750000 参考図から調査団が算出

(2) 調査地域の水利用と水源

給水対象地域では標準的な降水量の1991年でみれば、表流水と下水処理水の再利用、及び地下水からなる年間約5億 m³ の水資源を有し、その約70%を農業に、残りの154MCM/年を人口約390万人に対する生活・工業用水として使用している。この給水量は不明水を考慮した、一人当たり日平均給水量としてとらえると、目標とする計画給水量の150-180リットル/人日をかかなり下まわる60-100リットル/人日となっている。

表 2. 2 北部5州における水源と水利用

水 源	1991 水文標準年 (単位 MCM/年)		
	水 量	農業用水	生活・工業用水
表 流 水	153.6	124.1	9.5
下水処理水	30.1	30	0
地 下 水	370.4	226.9	143.5
合 計	554	381	153

一方、給水対象地域のアンマン市を含む北部5州の最近(1993年、豊水年)の給水状況を概括してみると表-2. 3にまとめられるようになり、ほぼ需給を均衡させているザルカ、イルビット、バルカの3州に対し、アンマン州は圧倒的な給水超過、マフラック州は供給州となっている。また、アンマン州の需要を賄うため、北部5州以外の地域からも供給を受けていることを示している。

表 2. 3 北部5州の生産・給水状況 (生活・工業用水)

単位 MCM/年

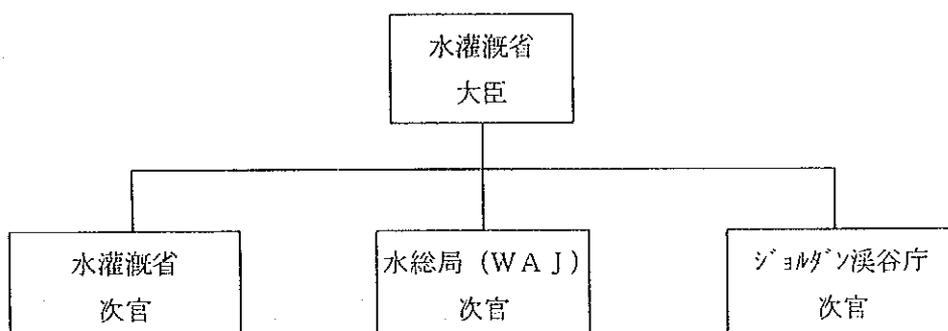
州	生産量	給水量	正味受入量
アンマン	54.6	101.1	46.4
ザルカ	29.4	25.2	-4.2
イルビット	30.8	34.4	3.6
マフラック	35.5	13.3	-22.2
バルカ	17.1	18.0	0.8
計	167.7	192.2	24.5

1994年水総局資料

(3) 給水事業の現況

1) 給水事業組織

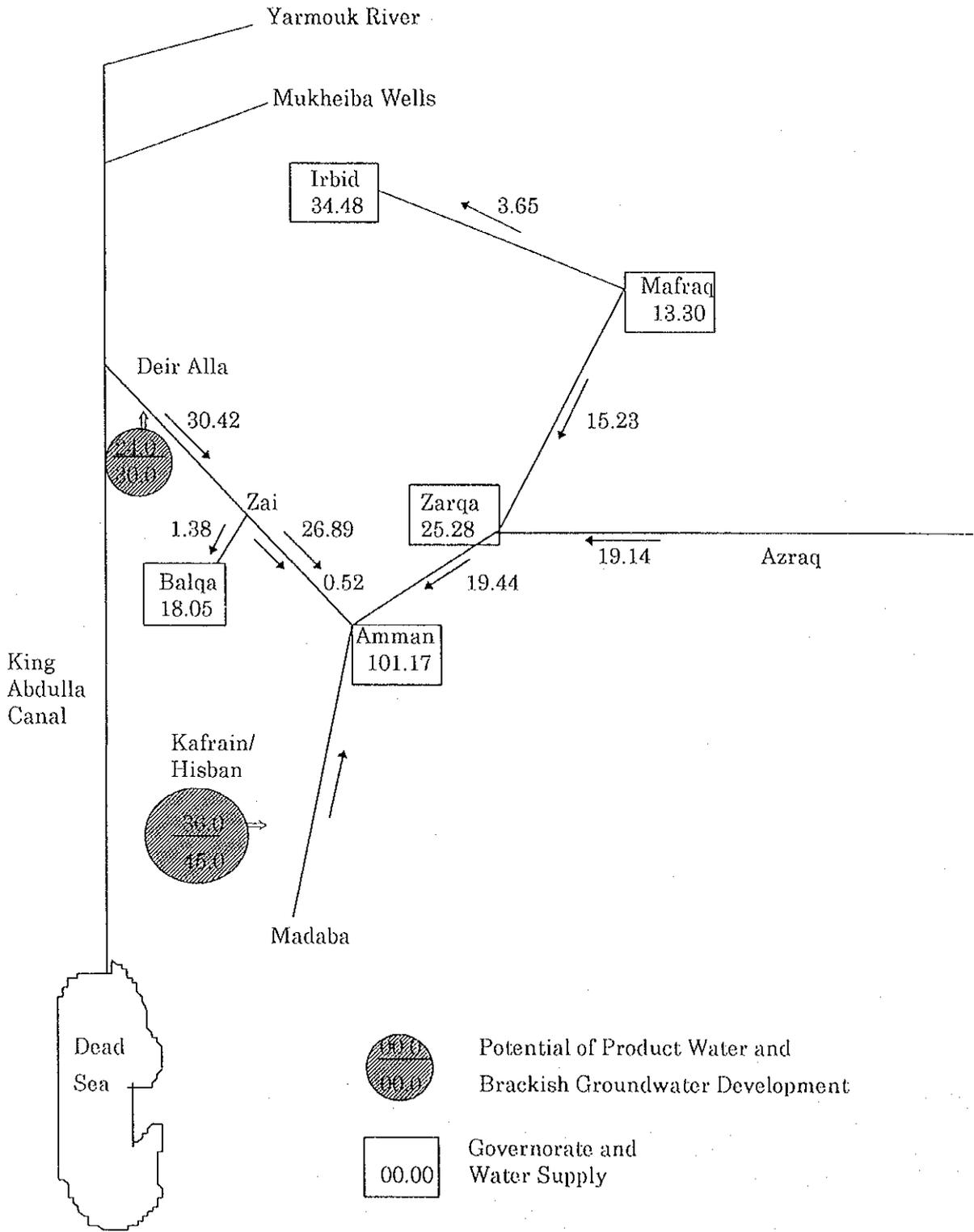
ジョルダン国における給水事業は、全国での農業用水、生活用水、および工業用水が水灌漑省の水総局 (Water Authority of Jordan: WAJ) で一元的に運営されている。ジョルダン渓谷の農業用水に関しては、ヤルムーク川からの取水、導水の管理を含めジョルダン渓谷庁 (Jordan Valley Authority: JVA) により管理・運営されている。これらの二つの組織は下図に示されるように水灌漑省に属し水灌漑省大臣の管轄下にある。



この水総局の所掌範囲はいわゆる給水事業にとどまらず、以下のように地下水を含む水資源開発調査から下水処理事業まで多岐に及んでいる (図 2. 2 水総局組織図参照)。

- 水資源調査
- 水資源開発
- 公共・民間井戸管理
- 上下水道整備事業の計画、建設
- 上下水道施設の運転・維持管理
- 上下水道に関わる基礎および応用研究
- 水資源活用・節減の推進および啓蒙

図2. 1 北部5州間の送水管網と送水・給水量 (1993年)
 (Unit = MCM/year)



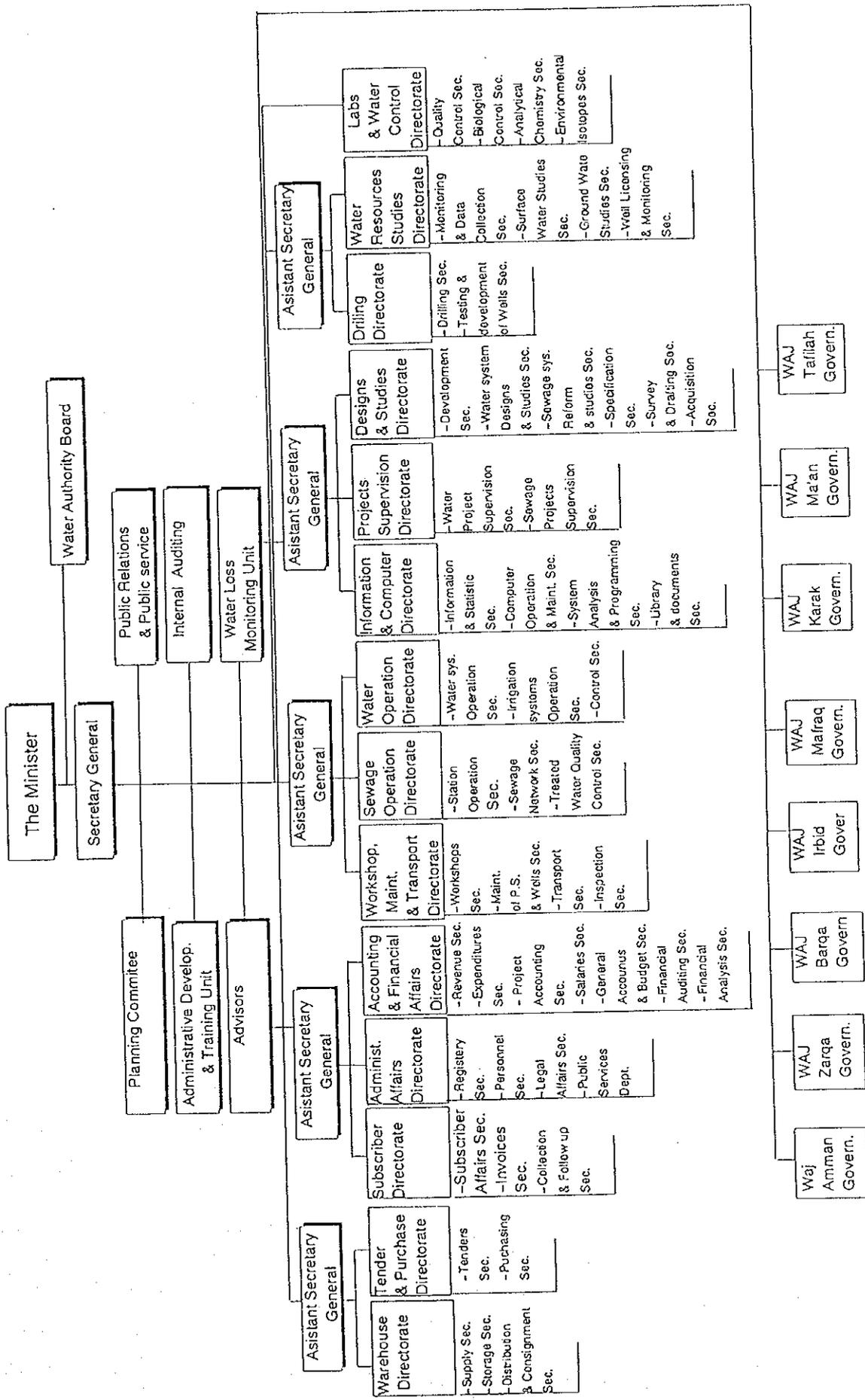


图 2. 2 水灌溉省水総局 (WAJ) 組織図

2) 水道事業財政

一水総局財政状況

水灌漑省水総局(WAJ)はジョルダン溪谷での農業用水供給事業を除き、全国の水道事業を管轄している。その概略の財政状況は表2.4のとおりである。財政上は年間およそ50億円強程度の赤字を計上しており、国庫補助による補填を受け運営されている。またこの赤字額はほぼ、原価償却額と借入金利息の合計に相当し、一言でいえば、水道料金収入では施設建設等の資本費には充当できず、人件費と運転維持管理費がまかなえているということになる。

表2.4 水総局(WAJ)財政

項目	1992		1993	
	mJD	億円	mJD	億円
年間総支出	66.99	100.49	71.17	106.76
人件費	13.31	19.97	15.22	22.83
運転維持管理費	19.06	28.59	19.02	28.53
一般管理部局経費	0.45	0.68	0.50	0.75
減価償却費	22.33	33.50	24.39	36.59
借入金利息	11.84	17.76	12.04	18.06
年間総収入	27.84	41.76	34.82	52.23
年間総事業損失	-39.15	-58.73	-36.35	-54.53

水総局年次報告1994

1JD=150円

一水道料金

水道料金は地域別にも分類があるが、アンマン市での料金を例にとれば、料金は使用量に応じ1m³あたりの価格が決められている。また、水道の使用量に応じて下水道料金が以下のように徴収される。

2.5 水道および下水道料金

料金分類 3ヶ月間の使用量 (m ³)	水道料金 (フィルス/m ³)	下水道料金 (フィルス/m ³)
0 - 20	100	30
21 - 40	190	40
41 - 70	400	100
71 - 100	500	200
101+	600	250

水総局資料部、1994

アンマン市内に適用

1フィルス=1/1000JD=15銭

一現況水価

水総局（WAJ）の水道事業における現状（最近2年）の配水コストを概括的に捕らえれば、施設建設費の減価償却を含め1m³あたり平均0.326JD（48円）の費用をかけ、年間2億m³程度の生活用水、工業用水の給水を行い、1m³あたり平均0.160JD（24円）の収入を得ていることになる。したがい、今後の水資源開発がこれまで以上に費用がかかるのは当然のこととしても、0.500JD/m³（75円）くらいが限度というのが開発関係者のコンセンサスとなっている。

表2.6 平均配水コスト

	単位	1992	1993
総配水量	MCM/年	208	218
年間総収入	1000 JD	27,840	34,824
単位配水量あたり収入	JD/m ³	0.134	0.160
年間総支出	1000 JD	66,999	71,165
単位配水量あたり費用	JD/m ³	0.322	0.326
年間事業損失	1000 JD	39,159	36,341
単位配水量あたり損失	JD/m ³	-0.188	-0.167

(4) 既往水資源開発計画

計画省の1988年の報告によれば、アンマン首都圏への給水を目的とした水資源開発計画は以下のとおりである（一部、実際の開発および開発取りやめ決定に応じ修正されている）。

これでほぼヨルダン全国の残存する淡水水資源は網羅されており、将来の需要を全く充足できない。今後下水処理施設の整備に伴う処理水の農業用水への再利用および、本調査を含む地下汽水の淡水化処理利用等の水資源の創出が期待されている。

表2.7 大規模水資源開発計画

開発計画名	開発規模 (MCM/年)	備 考
1. ヤルムク川表流水を KACより取水	36	和平協定締結により実施可能となった。
2. ムケイバ地下水開発	20	北部地下水開発。一部完成し、KACに導入している。
3. ワジ・ワラ地下水開発 涵養ダム建設	24	アンマン南部地下水開発、井戸開発は一部完成し、マダバ市經由送水を開始。涵養ダム計画中。
4. ユニティダム建設	50	ヤルムク川の雨期洪水流量を貯水し、利用するもの。シリアとの和平が条件となる。
5. カ・デシィ/ムダワラ 化石水開発	75	ヨルダン南部（アンマンより350 km）の化石水開発。一部、アカバ市の生活用水および農業用水として利用開始。

KAC：キング・アブドラ用水路

2. 水需要予測

(1) 水需要予測

ジョルダン溪谷

ジョルダン溪谷の生活・工業用水需要は生活用水、工業用水、観光用の水需要で構成される。生活用水の水需要はジョルダン溪谷の全人口 164 千人にヨルダン人の人口増加率 4.4%とサウス・シューナ地区の外国人労働者の増加を見込んで算定した。一人当たりの水需要は水総局の計画給水量 150 リットル/日とした。工業用の水需要は現状の溪谷内工業用水消費量をベースに人口と同程度の増加率を見込んで算定した。観光用の水需要は、現在死海東岸に計画中の観光マスタープランをもとに算定した。その結果、ジョルダン溪谷の水需要は 1995 年に 13.52MCM/年、2010 年には 26.49MCM/年と推定された。その内、生活用水がほとんどであり工業用、観光用は極めて少ない。

現在のジョルダン溪谷内の水供給量は限界供給量に近く、10.13MCM/年である。したがって、ジョルダン溪谷全体が水不足であり、1995 年の-3.39MCM/年が 2010 年には-16.36MCM/年に増大する。

表 2. 8 ジョルダン溪谷の人口予測

年	本国人				外国人労働者				合計
	北部	中部	南部	小計	北部	中部	南部	小計	
	1995	85	35	33	153	10	8	11	
2000	106	45	39	191	10	8	13	31	222
2005	133	58	47	238	10	8	15	33	272
2010	166	75	57	298	10	8	17	35	333

人口増加率：北部 4.6%、中部 5.1%、南部 3.8%、平均 4.4%

出典：1993 統計年鑑

表 2. 9 ジョルダン溪谷の生活・工業用水需給バランス

年	生活用水	工業用	観光用	合計	水供給量	(MCM/年)
						水需給 バランス
1995	12.54	0.98	-	13.52	10.13	-3.39
2000	15.28	1.22	0.36	16.86	10.13	-6.73
2005	18.68	1.51	0.82	21.01	10.13	-10.88
2010	22.99	2.32	1.27	26.49	10.13	-16.36

出典：JICA 調査団。

北部5州（ジョルダン渓谷を除く）

アンマン市を含む北部5州（アンマン、ザルカ、イルビット、マフラック、バルカ）の人口はジョルダン渓谷を除くと3,618千人であり、全国の90%が集中する。生活用水の水供給量は1993年で181MCM/年であり一人当たり137リットル/日であるが、不明水が60%近くあり有収率が低い。

生活用水の水需要予測は、現在の人口増加率3.6%が暫減すると仮定し一人当たりの計画給水量を水総局の計画値である150リットル/日（低水準）と180リットル/日（高水準）の二つのシナリオで予測した。北部5州の工業用水需要は、現在全国の35%に達してはいるが、今後もこの傾向が継続するとして推定した。その結果、北部5州（ジョルダン渓谷を除く）の生活・工業用水需要は、1995年の低めの予測で308MCM/年、高めの予測で365MCM/年であるが、2010年にはそれぞれ517MCM/年から609MCM/年となる。現在の水供給量181MCM/年が今後も継続すると仮定すると、水需給バランスは、1995年で-127MCM/年から-184MCM/年の幅にあるものが、-336MCM/年から-428MCM/年の水不足に陥ると予測される。

表 2. 10 北部5州の人口予測

年	単位千人						増加率
	アンマン	ザルカ	イルビット	マフラック	バルカ	合計	
1995	1,803	688	1,006	179	207	3,883	3.6%
2000	2,152	821	1,200	214	247	4,634	3.6%
2005	2,519	961	1,405	250	289	5,425	3.2%
2010	2,929	1,114	1,629	290	335	6,289	3.0%

出典：1993統計年鑑

表 2. 11 北部5州（ジョルダン渓谷を除く）の生活・工業用水需給バランス

年	(MCM/年)					
	生活用水 (低水準)	生活用水 (高水準)	工業用	水供給量	水需給 (低水準)	バランス (高水準)
1995	285	342	23.3	181	-127	-184
2000	340	408	36.4	181	-195	-263
2005	398	477	43.4	181	-260	-339
2010	461	553	55.5	181	-336	-428

出典：JICA 調査団。

ジョルダン溪谷の灌漑用水

ジョルダン溪谷の農業用水需要予測は、ジョルダン溪谷の農産物耕作パターンと耕作面積から算定した。その結果、ジョルダン溪谷北部（North Shuna）が最も多く農産物を産出し水消費の高い果樹木の植樹も多いため、水需要が最も高い。また、南部（South Shuna）も耕作面積が広く、更に、水を多く必要とするバナナの耕作も盛んなため水需要が高い。現在、キングアブドル用水路と圧力水管網を通して 228MCM/年の水が灌漑されているが、1995年に 258 MCM/年の水不足が 2010年には 373MCM/年の水不足となると予測される。

表 2. 1 2 ジョルダン溪谷の灌漑用水需給バランス

年	(MCM/年)				水需給 バランス
	North Shuna	Deir Alla	South Shuna	合計	
1995	175	90	220	485	-258
2000	175	90	258	524	-297
2005	175	90	296	562	-335
2010	175	90	334	600	-373

出典：JICA 調査団。

(2) 長期水資源需給バランス

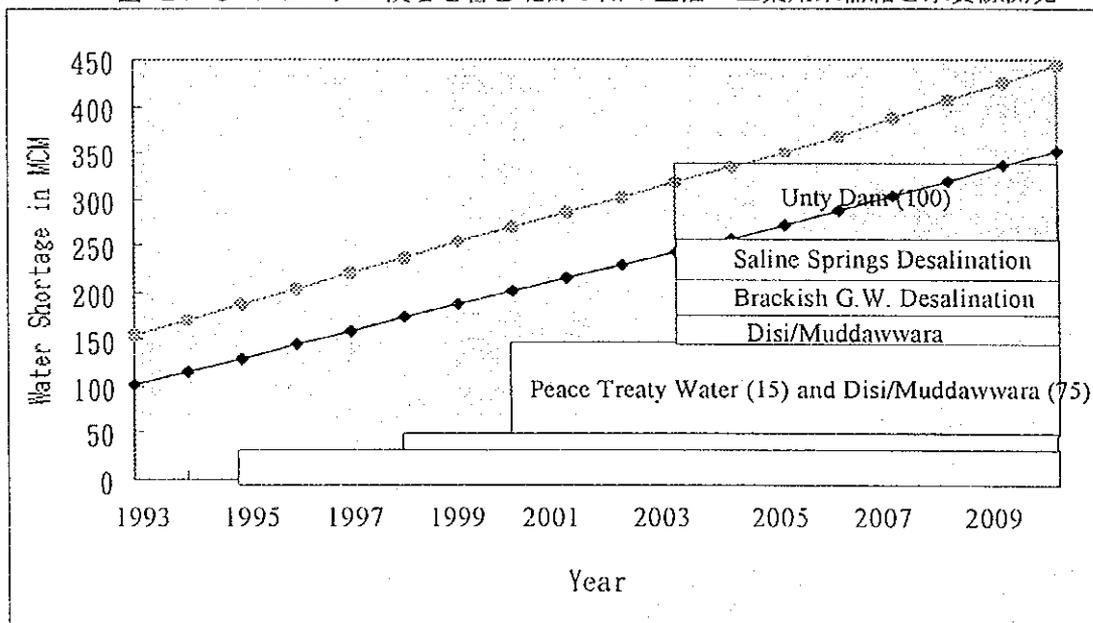
現在ヨルダンで計画されている水資源開発では、和平条約の短期・中期・長期に確保される水量を含め840 MCM/年が予定され、政府の財政事情が許す限り実施されることが望まれている。調査団の推定では予定全量のうち生活・工業用水が345 MCM/年、農業用水が495 MCM/年となっている。

ヨルダン渓谷を含む北部5州に関する生活・工業用水資源開発は、和平条約による水資源が45 MCM/年、ヨルダン南部のディシ・ムダワラ化石水75-100 MCM/年が予定されているが、順次実施されても総水需要を満たすことはなく、新たな水源として大規模な地下汽水の開発が待たれる。ユニティダムの建設はシリア・ヨルダン両国の和平交渉の決着が前提条件であるため、現時点では不透明である。(図 2. 3 参照)

ヨルダン渓谷では、恒常的に生活・工業用水が不足しており現在のところ決定的な解決策は地下汽水開発以外ない。ただし、1998年に5 MCM/年の淡水が開発され水がヨルダン渓谷全域に給水された場合、実際の一人あたりの給水量は計画から少し低いところで落ち着くと考えられ2000年までぐらいいは充足できるが、またその後は供給不足に陥ると予測される。(図 2. 4 参照)

ヨルダン渓谷の灌漑用水資源開発は、建設中や近い将来建設予定のダムや短期的に確保されるであろう和平条約の水、運河の改修が行われれば200 MCM/年に近い水不足が解消するが、すべての水不足を解消するには和平条約の長期的な水や下水処理水の再利用等による水源の確保が必要となる。(図 2. 5 参照)

図 2. 3 ジョルダン渓谷を含む北部5州の生活・工業用水需給と水資源開発



注記：和平条約による水資源の生活用水・農業用水の配分は調査団の推定による数字で、実際にはヨルダン政府内部で今後調整されるものである。

図 2. 4 ジョルダン渓谷の生活・工業用水需給と水資源開発

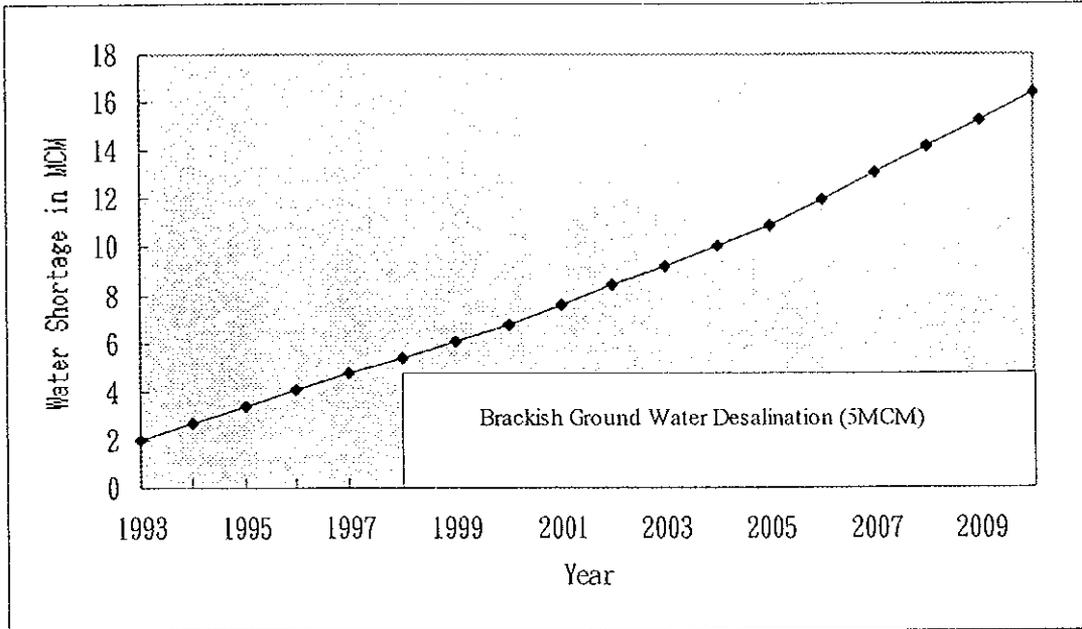
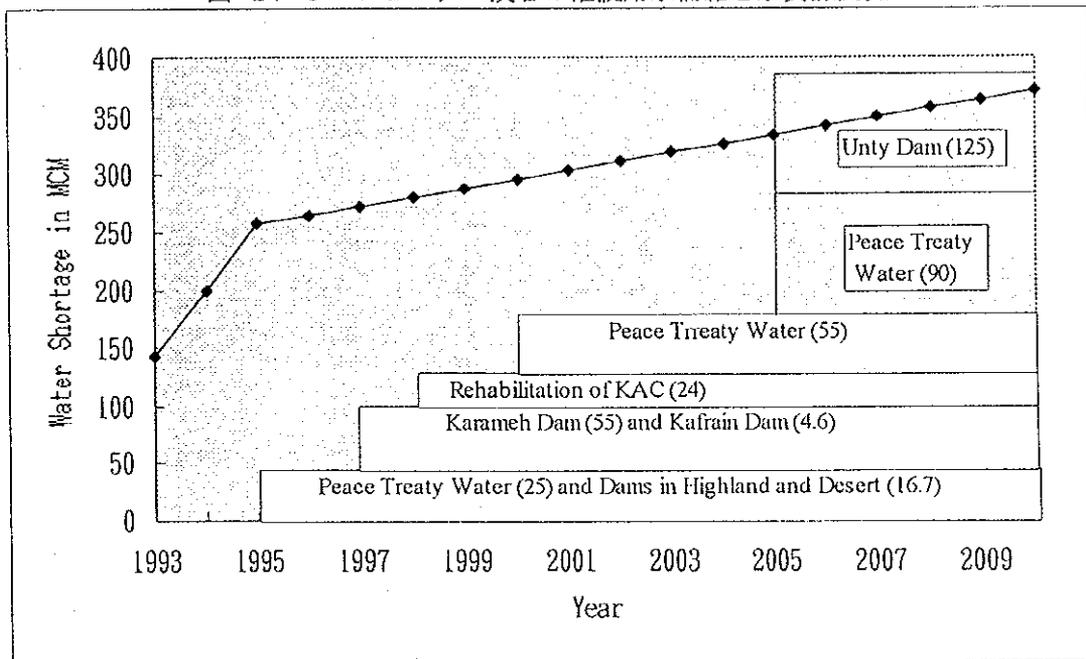


図 2. 5 ジョルダン渓谷の灌漑用水需給と水資源開発



注記：和平条約による水資源の生活用水・農業用水の配分は調査団の推定による数字で、実際にはジョルダン政府内部で今後調整されるものである。

3. 地下汽水開発代替案

(1) 地下汽水水質と淡水化システム

調査対象地域での今回の地下汽水水質（表2. 13）を見ると、調査地域南部の汽水中にはTDS値で5,000 mg/L、北部では7,500 mg/L程度の溶解性物質が含まれており、適用が考えられる淡水化技術は蒸発法、逆浸透膜法及び電気透析法の3プロセスがある。本調査では、この三方式の中から、エネルギー効率（維持管理費）及び汽水での建設実績（技術の普遍性）を考慮し、今後の開発計画では“逆浸透膜法”を採用することとした。

- 蒸発法： 原水を蒸発・凝縮させ脱塩する。
(MSF) 蒸発を利用するため、脱塩効果は高いが、汽水に適用するにはエネルギー効率が悪い。水蒸気の凝縮過程で多量の冷却水を要する。
- 逆浸透膜法： 浸透膜で隔離された溶液間の移動特性を利用し脱塩処理行う。
(RO) 海水、汽水への適用範囲が広く、最近の技術開発により処理コストも下がってきている。内陸部での淡水化に適している。
- 電気透析法： 陽イオンのみを通過させるイオン交換膜と陰イオンのみを通過させるイオン交換膜を交互に並べたものに通電することで濃縮水と、脱塩水を得る。
(ED) 汽水の淡水化に適しているが、今回の原水濃度より少し低い、2,000mg/L程度でエネルギー効率（電力消費）が良くなる。実績が比較的少ない。

表2. 13 地下汽水水質

水質項目	単位	北部	南部
pH	-	6.2 - 6.5	6.1 - 6.4
TDS	mg/L	7500	5000
SDI	-	5 - 6	4 - 5
Ca	mg/L	700 - 900	400 - 500
Mg	mg/L	100 - 150	100 - 150
Na	mg/L	1100 - 1300	1000 - 1200
Cl	mg/L	1700 - 2000	1500 - 1700
SO ₄	mg/L	1600 - 1800	400 - 600
HCO ₃	mg/L	1000 - 1200	1000 - 1200
Fe	mg/L	8 - 12	2 - 6

淡水化施設の計画の条件として、施設で淡水化処理した後の生産水の水質を決めておく必要がある。調査地域（アンマン市を含む北部ジョルダン）の水道水の水質は、現状では淡水地下水の開発が限度に近づき、塩分濃度が高く、目標水質基準値の500 mg/Lを上回る状況となっている。

一方、淡水化による脱塩は、処理水の水質により施設内容、運転コストが変わることから、幾つかの水質を想定し検討した。その結果、技術的、経済的に無理がなく、地域の水質改善に貢献できる水質としてTDS値で“300mg/L”程度の処理水とすることとした。

(2) 開発代替案

地下汽水開発の戦略策定に際し、これまで実施してきた供給先・量、開発地点・規模、淡水化方式、供給方式についての技術的な検討を踏まえ、開発に表 2.1 4 及び図 2. 6 に示す 5 つの代替案を選定した。各代替案の構成要素での検討内容は以下のとおりである。

一供給先・量

アンマンへの供給（同時に北部四州への需給緩和）	開発可能量全量
ジョルダンバレーへの緊急整備	5 MCM/年供給
ジョルダンバレーの将来需要への対応	1 6 MCM/年供給

一開発地点・量

デルアラ地区での 5 MCM/年生産のための	6 MCM/年開発
デルアラ地区での	開発可能量全量
カフレン地区での 5 MCM/年生産のための	6 MCM/年開発
カフレン地区での	開発可能量全量

一淡水化方式

水質の点から、本開発計画調査では逆浸透膜方式以外の方式を検討する余地がなく、この要素での代替案は考慮しない。

一送水方式

既存のデルアラライザ送水管路の利用
 ジョルダンバレー内部の南北幹線新設
 南部カフレン地区からアンマン南部への送水管路新設

一濃縮塩水処理

環境上の課題としてイスラエルージョルダン和平条約の付則で明記された「淡水化設備からの濃縮塩水はジョルダン川及びその支流に放流しない」に忠実にしたが、以下の方式を検討する。

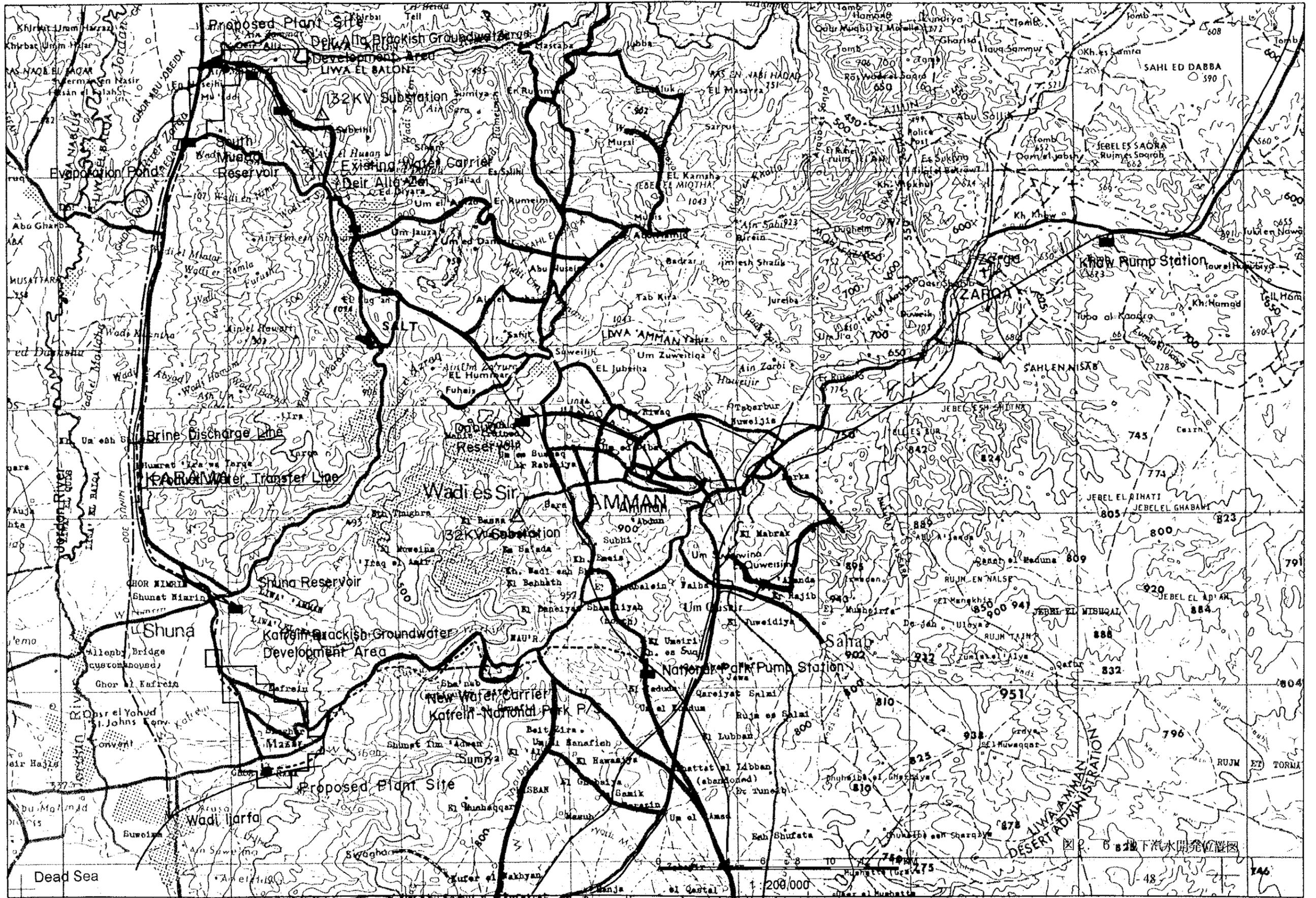
- ・ジョルダン川の両岸に豊富に存在する塩水泉、地下汽水開発のための共通排水路整備を行い、水質保全及び経費節減をはかる。
- ・単独排水路を設置する。
- ・カフレン地区では近傍の死海へ流出するワジへ放流する。
- ・蒸発池により処理する。

一電力供給

ジョルダンバレー内の既存 3 3 k v 送電線網からの供給
 アップランドの既存 1 3 2 k v 送電線網からの供給
 自家発電設備の設置

表 2. 1.4 地下汽水開発代替案

項目	計画-A	計画-B	計画-C	計画-D	計画-E
汽水開発地点	デル・アラ	デル・アラ	カフレイン	カフレイン	デル・アラ/カフレイン
汽水開発量	30 MCM/年 井戸33本 集水管路8 km	6 MCM/年 井戸6本 集水管路2 km	45 MCM/年 井戸50本 集水管路15 km	6 MCM/年 井戸6本 集水管路2 km	75 MCM/年 井戸82本 集水管路23 km
淡水化方式	RO	RO	RO	RO	RO
給水対象地域	ジョルダンバレー 余剰水アンマン	ジョルダンバレー 余剰水アンマン	アンマン ジョルダンバレー	ジョルダンバレー フリーゾーン・観光	アンマン ジョルダンバレー
供給量	24 MCM/年	5 MCM/年	36 MCM/年	5 MCM/年	60 MCM/年
処理水水质	TDS300	TDS300	TDS300	TDS300	TDS300
送水設備	南北新幹線 既設ガイス水管路	南北新幹線 既設ガイス水管路	新設南ルート送水管路	既設配水網 南北新幹線 観光切替負担施設	既設/新設 送水管路
発電設備	なし	なし	12000 KW	なし	12000 KW
送電設備	132 KV	33 KV	33 KV	33 KV	132/33 KV
濃縮塩水処理	共通排水路 (A1) 死海	共通排水路 (B1) 死海	排水路 死海	ワジ・ジャルファ	共通排水路 死海
濃縮塩水処理	単独排水路 (A2)	蒸発池 (B2)			



地下水開發位置圖

(3) 初期環境評価

1) 初期環境評価の指針と手法

ジョルダン国は、現在環境に関する法制度と環境影響評価手法がまだ樹立されていないので、本プロジェクトの初期環境評価は、JICAの「社会・経済インフラ整備計画に係る環境配慮ガイドライン」に従って行うこととした。

環境評価は、まず、環境影響評価マトリックスによって、評価項目を選定し、次に選定された環境項目について、プロジェクトの影響の程度を評価し、環境影響を削減する対応策を検討する。

評価にかかわる環境基準値については、ジョルダン国の基準がないため、日本の基準を適用することとした。

2) 環境影響評価マトリックス

本プロジェクトに適用した環境影響評価マトリックスは図2.7に示すようである。プロジェクト要素は、地下汽水開発の各代替案に関連する淡水化施設、濃縮塩水排水路、送水幹線等があり、それぞれに対して、建設と運転の2フェーズを考慮した。環境項目は、JICAガイドラインに明記されている、社会環境、自然環境及び公害に係る23項目でした。

調査地域の現状を考慮した上、下記の項目が環境影響評価項目として選定された。

・施設建設に係る項目：

経済活動、交通・生活施設、遺跡・文化財、廃棄物、騒音・振動

・淡水化プラント運転に係る項目：

地下水

・濃縮塩水処分に係る項目：

廃棄物、水質汚染、土壌汚染

また、地下汽水開発によって、ジョルダン渓谷とアンマン地域の給水条件の改善が期待されるので、それに伴う下水発生量の増加と下水処理の問題を評価項目に加えた。

3) 選定された項目の評価

a) 経済活動

ジョルダン渓谷地域に、最も重要な経済活動は農業であるため、農地に対する本プロジェクトの影響を重点的に評価した。淡水化プラント、濃縮塩水蒸発池等の建設はほとんど農地を転用しない。生産井、送水・排水路の建設に際して、農地を配慮する必要があるが、その影響を最小限に抑えることができる。

他の経済活動に対して、本プロジェクトの影響がほとんどない。

b) 交通・生活施設

管路建設に際して、国道65と40号線等の主要道路の交通を妨げることないように、臨時措置を取る必要がある。

他の生活施設には、本プロジェクトの影響が小さい。

c) 遺跡・文化財

ジョルダン渓谷地域に、貴重な遺跡が多く点在しており、プロジェクトの計画地とその周辺にも、約 25 箇所の遺跡があると報告されている。そのため、プロジェクトの実施に際して、遺跡の確認と回避、保護措置を取らなければならない。

d) 廃棄物

建設廃棄物の処分を留意すべきであるが、大きい影響がない。

e) 騒音・振動

主な建設機械の騒音と振動レベルを予測した。プラントと生産井の建設現場は住宅街から遠く離れるので、その影響がないと考えられる。住宅街付近での配管工事は夜間作業禁止のような措置をとることが必要である。

f) 地下水（水位、水質）

ザルカ地下汽水層と上部の浅い帯水層について、地下水シミュレーションの結果と水質分析結果に基づいて、水位と水質の変化を予測した。地下汽水長期開発によって、ザルカ層水位の低下が起こり、上部のクルノブ層の水位に影響を及ぼすことがあるが、現在の水源となっている他の浅層地下水には影響がない。また、ザルカ層汽水開発の結果、塩分濃度の低いクルノブ層からザルカ層への漏水量が増加し、逆方向で塩分濃度の高いザルカ層からクルノブ層への漏水量が減少するため、両水層の水質は塩分濃度が低減する方向に変化することが予想される。

g) 濃縮塩水処分による水質と土壌汚染

死海は塩分濃度が極めて高い海であるので、それを濃縮塩水の最終処分地とすることには環境上の問題がない。

蒸発池の代替案について、水質と土壌汚染の恐れがない。

ワディジャルファーを排水路として濃縮塩水を死海に放流する代替案については、塩水の地下浸透により浅層地下水が汚染されることを配慮すべきである。特に南部で 45MCM/年の本格的開発を計画する際、プラントから死海までの専用排水路の設置を薦めたい。

h) 水供給条件の改善に伴う下水処理問題

地下汽水開発により、良質の処理水を、ジョルダン渓谷地域に 5~16MCM/年、アンマン区域に 8~44MCM/年の量で供給することができ、両地域の給水条件が改善される。それに伴い、ほぼ同量の下水が発生されるので、下水処理施設の増設が必要である。特に、ジョルダン渓谷地域には現在、下水道の普及率は数パーセントしかないが、今後上水道と下水道を平行に発展させることを薦める。

4. 事業評価

(1) 事業費及び運転維持管理費

1) 事業費

代替案毎の事業費を表 2. 1 5 に示す。事業費の内訳の項目および積算の手法は下記のとおりである。

a) 井戸設備

- ・当該開発調査での試験井掘削費用を参照
- ・材料費は個別に数量を算出、現地入手単価で積算
- ・工事費は概算数量により現地入手工事単価（水灌漑省聴取）で積算

b) 淡水化設備

- ・世界の建設実績契約額と給水量で標準的水準を設定
- ・国際淡水化協会の概算建設費算定プログラムによる計算結果を参照
- ・原水水質による特殊前処理設備については個別に積算

c) 濃縮塩水排水設備

- ・材料費は個別に数量を算出、現地入手単価で積算
- ・土木工事として概算数量を算出、現地入手単価（水灌漑省聴取）で積算

d) 発電設備

- ・発電容量より、コンサルタント経験値で積算

e) 電力供給設備

- ・水灌漑省から入手した概算費用を参照

f) 送水設備

- ・ジョルダン溪谷内南北送水幹線：
材料費は個別に数量を算出、現地入手単価で積算
土木工事として概算数量を算出、現地入手単価（水灌漑省聴取）で積算
- ・カフレン～アンマン揚水幹線：
ジョルダン国内の他プロジェクト実績資料から推定
本調査での概略計画に基づき修正

2) 運転・維持管理費

代替案毎の年間運転・維持管理費は表 2. 1 6 に示す。この中で、電気代、薬品等は現地入手単価、RO設備等は国際価格に基づき積算した。

(2) 水価

調査地区の水需給は、常時不足している状況であり、現在計画中的の水資源開発プロジェクトをすべて実施しても十分な水供給が達成されるとは考えられない。したがって、調査地域の水資源開発は最小水価の順に財務状況が許され次第実施すべきである。

表 2. 17 および 18 に地下汽水淡水化開発の各代替案の水源設備（生産井）、淡水化設備、排水設備、電力供給設備および給水地までの送水設備を含む建設費、運転維持管理費を考慮し、水価を算定した。

—淡水化施設による各代替案の給水コストは、概ね 0.521 JD/m³ から 0.597 JD/m³ の範囲にあり、そのうち建設費の減価償却と運転維持管理費の割合がほぼ半々である。現在の水総局の全国平均での給水コストは 0.307 JD/m³ であり、ジョルダン政府は給水量 1 m³ 当たり 0.187 JD の補助金を助成しているが、現状の水道料金で淡水化事業を実施した場合更に大きな助成を必要とすることが予想される。ただし、水総局が現在推進中の新規水資源開発計画では概ね 0.500 JD/m³ 程度とされており、開発可能な範囲と考えられる。

—水価の比較評価を行った事業のうちカフレインに建設する 6 MCM の施設が最も建設費が安く、しかも水価が低い。これは、死海に近く濃縮塩水の排水設備の費用が低減されること、そしてジョルダン渓谷内の給水のみを考えるため、送水設備の費用が比較的低いためである。

表 2. 17 各代替案における水価

開発地点	開発量 (MCM/年)	水価 (JD/m ³)	給水地
計画-A デル・アラ	30	0.55	アマン
計画-B デル・アラ	6	0.55	ジョルダンバレー
計画-C カフレン	45	0.60	アマン
計画-D カフレン	6	0.52	ジョルダンバレー
計画-E 両地点	75	0.58	アマン

—逆浸透膜法による淡水化处理においては、運転費の中で電力費の占める割合が高いのが一般的である。一方、本調査での水価の計算に用いた電力単価 (0.03 JD/KWH) は水灌漑省の給水事業のためのジョルダン電力庁の特別単価 (ほぼ経済発電原価に相当) であるが、これは国際的な発電単価に比べかなり低いものとなっている。その理由はジョルダン国が隣国のイラクより安い価格で原油の供給を受けていることによるが、それを考慮し発電単価が上昇した場合 (0.05 JD/KWH) の試算によれば、水価は計画-C で 0.73 JD/m³、計画-D で 0.57 JD/m³ 程度に上昇する。

(3) 経済・財務分析

1) 内部収益率 (表 2. 19)

—各代替案の建設費・運転維持管理費と現在の水道料金・補助金収入を比較し、借入金で淡水化事業を実施した場合の内部収益率を算定したが、有意の値を得ることはできなかった。早急に現実的な施策とはなり得ないが、感度分析の結果として、水道料金収入を 50%

上げた場合、または補助金を100%上げた場合のみ有意の値が得られるが、それでも1.88%~5.65%と低い内部収益率に留まっている。

—補助金の助成によって上記の内部収益率を確保した場合、毎年の補助金総額は淡水化施設の規模に従い大きくなっている。最も給水量の多いC案の補助金総額は13.4百万JDであり、現在の水総局の補助金総額の59%に匹敵する。一方、給水量の最も少ないB案・D案の補助金総額はそれぞれ1.9百万JDであり水総局の補助金総額の5%程度に留まる。

2) 財務諸表分析 (図2. 7、図2. 8)

現状の水道料金・補助金水準と低利(3%~7.5%)の国際経済協力ベースの融資を想定し、優先プロジェクト(D案)を実施した場合の財務状況を分析した。

—補助金を含めた総収支は事業実施25年間にプラスに転ずることはない。支出の中では淡水化施設建設の減価償却費が大きな比重を占めている。

—負債額は、事業実施中を通して高いレベルにある。また、毎年の運転資金は非常に少なく、15年後の設備更新時に新たな借入金が必要となる。

—優先プロジェクトには、財務上の補助が必要である。もし建設費のほとんどが政府補助によって軽減されれば、上述の財務状況は大きく改善され、プロジェクト期間中25年間は財務的には問題なく運転が維持されるものと思われる。

(4) 事業評価

1) 調査地域での淡水化事業の評価

逆浸透膜法による淡水化の水道事業は、ジョルダン国水灌漑省・水総局にとって初めての経験であり、浄水処理技術として比較的簡単な濁度処理および塩素滅菌処理が行われているだけであるため、かなり厳格な水質管理等の運転技術が要求され要員上、かつ技術的負担は増える。しかしながら、これまでの、表流水、淡水地下水資源が限界に来ているため、地下汽水あるいは塩水泉を水源とする淡水化水資源開発は今後重要な施策となることは間違いなく、技術の蓄積・修得および要員の教育・育成は不可避である。

また、淡水化技術上の見地からすれば、今回提案されている逆浸透膜処理設備は原水水質のためかなり高度な前処理設備を要し、単純な海水淡水化と比べ運転圧力は低い、多くの前処理用の薬品、濾過材料の消費が見込まれる。

調査地域での開発では、アンマンへの給水の場合標高差1200mに及ぶ揚水を必要とする。一方、ジョルダンバレー内の給水の場合、現在の給水施設は基本的に、ほぼ全域に散在する井戸を水源としているため配水のための幹線網は整備されていない。したがって、大規模淡水化設備による開発に伴い、南北を結ぶ送水幹線の建設が必要となる。

また同時に、水文地質解析に示されるとおり、対象帯水層の地下汽水是ジョルダン川に最終的に流出しており、ジョルダン川の塩分濃度を上げている。したがって、調査地域での全面的な汽水開発はジョルダン川の水質改善に確実に寄与する点も特筆できる。

2) 代替案の総合事業評価

以上の事業評価を各計画案について、総合評価としてとりまとめると以下となり、優先事業に計画-Dを選定する。

表 2. 20 代替案総合事業評価

計画案	総合評価
計画-A	<p>ジョルダン溪谷の2010年の需要を満たし、余剰水をアンマン市に送水の可能性があるが、濃縮塩水処理に費用がかかり、共同排水路の整備が前提となる。このため公共事業全体としての財政負担が大きい。</p>
計画-B	<p>ジョルダン溪谷の1998年の需要を満たす。濃縮塩水処理に費用がかかり、単独の排水路設備建設は経済的に問題外である。共同排水路の整備が前提となる。溪谷南部への給水のため南北送水幹線の整備を要する。水価の点で、計画-Dに劣る。蒸発池による濃縮塩水処理については所要面積および析出塩の処理が困難であるため採用は考えられない。</p>
計画-C	<p>北部5州の絶対的水資源不足を大きく軽減する新水源として期待されるが、開発地点からアンマン市への揚水施設の新設が必要で、開発経済面で既往開発計画と競合し、実施に際しては詳細なF/Sを必要とする。</p>
計画-D (優先事業)	<p>ジョルダン溪谷の1998年の需要を満たす。水質が良く、濃縮塩水処理が簡単なため、水価が代替案の中で最小となる。需要の中心は溪谷の北、中部であるため、送水のための南北幹線整備が必要となる。小規模開発のため、水総局の財政負担増は許容範囲内と判断される。</p>
計画-E	<p>北部5州の絶対的水資源不足を大きく軽減する新水源として期待されるが、ジョルダン溪谷での塩水泉・農業排水、濃縮塩水の総合的処理を含め、和平協定での河川水（ヤルムーク川）の開発・配分・送水等との整合性を図る必要がある。実施に際しては詳細なF/Sを必要とする。</p>

表2. 15 事業費概算表

(単位：百万円)

	代替案A		代替案B		代替案C		代替案D		代替案E	
	外貨	現地通貨	外貨	現地通貨	外貨	現地通貨	外貨	現地通貨	外貨	現地通貨
I. 生産井戸	1261.2	102.8	213.9	36.2	1865	196.1	205.8	44.3	3126.2	298.9
a. 井戸建設	257.4	72.6	124.8	35.3	390	110	124.8	35.3	647.4	182.6
b. 井戸ポンプ	633.6	26.4		30	970.1	30			1603.7	56.4
c. 集水管	370.2	3.8	89.1	0.9	504.9	56.1	81	9	875.1	59.9
II. RO淡水化プラント	3521.4	1970.1	916.3	443.1	4918.1	2605	977.0	481.1	8439.5	4575.1
(1) 設備	3231.3	70.1	827.8	16.1	4445.4	95	828.9	16.1	7676.7	165.1
a. 機械設備	2666.2	70.1	666.7	16.1	3685.3	95	668.8	16.1	6351.5	165.1
b. 電気・計装設備	565.1		160.1		760.1		160.1		1325.2	
(2) 材料	196	190	49.9	47	241.7	230	109.5	85	437.7	420
a. 機械類	116	140	29.9	35	141.6	170	29.5	35	257.6	310
b. 電気・計装類	80	50	20	12	100.1	60	80	50	180.1	110
(3) 建設工事	173.3	1710	38.6	380	231	2280	38.6	380	404.3	3990
a. 機械工事	128.3		28.5		171		28.5		299.3	
b. 電気・計装工事	45		10.1		60		10.1		105	
c. 土木工事		1710		380		2280		380		3990
III. 排水施設	1800		173		325.1		5		2125.1	
IV. 電力供給施設	548		129		1231.1		92		1779.1	
V. 送水施設	1592.8	352.4	740.1	200	4173.1	1378.4	700	240.1	5765.9	1730.8
(1) 設備	506.2		80		432.1		80		938.3	
a. ポンプ	238.1		50		238.1		50		476.2	
b. 電気	268.1		30		194		30		462.1	
(2) 材料	528.6	352.4	300	200	1731	1154.4	300	200	2259.6	1506.8
(3) 建設工事	558		360.1		2010	224	320	40.1	2568	224
a. 機械工事			45		45		45		558	
b. 配管工事	558		275		275		275		558	
c. 土木工事			40.1		2010	224	275	40.1	2010	224
VI. 設計・建設管理	758.3		193.2		1097.4		188.4		1855.7	
合計	9481.7	2425.3	2365.5	679.3	13609.8	4179.5	2168.2	765.5	23091.5	6604.8
予備費* (10%)	11907.0		3044.8		17789.3		2933.7		29696.3	
総計	11907.0		3044.8		17789.3		2933.7		29696.3	
	1190.7		304.5		1778.9		293.4		2969.6	
	1309.8		3349.3		19568.2		3227.1		32665.9	

* 工事予備費、価額予備費および建設第一年度の流動資本利息を含む。

表 2. 1. 6 年間運転・維持管理費概算表

(単位：百万円)

項目	代替案A	代替案B	代替案C	代替案D	代替案E
I. RO淡水化プラント	931.9	183	1320.1	164.7	2252
(1) 電気代	309.2	47.7	442.1	37.8	751.3
(2) RO膜交換	87.6	18	131.3	18	218.9
(3) 薬品・消耗品	383.5	76.5	521.8	68.1	905.3
a. H ₂ SO ₄	240.5	46.5	358.8	46.8	599.3
b. NaOCl	105.6	21.2	39.3	5.1	144.9
c. FeCl ₃	0	0	57.5	7.4	57.5
d. スケール防止剤	9.5	1.8	14.3	1.8	23.8
e. SBS (NaHSO ₃)	4.7	0.9	6.9	0.9	11.6
f. NaOH	16.2	4.7	34.4	4.7	50.6
g. クエン酸	1.4	0.3	2.3	0.3	3.7
h. 安全フィルター	5.6	1.1	8.3	1.1	13.9
(4) 賃金	12.9	11.4	16.8	11.4	29.7
(5) 維持管理	48.5	10.8	72.8	10.8	121.3
II. 送水施設	198.4	17.3	685.2	17.3	883.6
(1) 電気代	185.4	14.9	629.7	14.9	815.1
(2) 賃金	0	0	0	0	0
(3) 維持管理	13	2.4	55.5	2.4	68.5
総計	1040.1	181.7	1870	163.4	2910.1

表 2. 18 地下汽水淡水化代替案の水価比較

代替案	A	B	C	D	E	Disi
造水量 (MCM)	24	5	36	5	60	50
初期建設費 (MJD)*	87.89	22.32	130.49	21.51	218.39	245.51
設備更新を考慮した建設費 (MJD)**	109.40	26.86	159.06	26.56	268.46	n.a.
運転・維持管理費 (MJD)	6.93	1.21	12.47	1.09	19.40	5.59
水価 (JD/m3)						
減価償却***	0.262	0.308	0.254	0.305	0.257	0.282
運転・維持管理費	0.289	0.242	0.346	0.217	0.323	0.112
合計	0.551	0.551	0.600	0.522	0.580	0.394

注*： 初期建設費の中には電力供給設備費は含まない。運転・維持管理費のなかの電力料金に含まれるものとする。

注**： 初期建設費に15年後の設備更新費を考慮して補正。

注***： 水価の計算には、金利3%、25年返済の融資条件を設定。金利が低いため初期投資が大きいプロジェクト（例えば Disi）には有利。

表 2. 19 財務内部収益率と感度分析

財務内部収益率	代替案				
	A	B	C	D	E
ベースケース*	nil.	nil.	nil.	nil.	nil.
(感度分析)					
事業収入 50% 上昇の場合	4.57%	1.88%	3.04%	2.66%	2.91%
補助金収入 100% 上昇した場合	5.65%	2.65%	4.23%	3.41%	4.12%
補助金総額 (百万JD/年)	8.9	1.9	13.4	1.9	22.3
水総局の補助金総額**(百万JD/年)			37.8		

注*：ベースケースの計算では、現状の水道料金と政府補助金を仮定している。

注**：水道料金の補助金総額は、1992年と1993年の実績を平均した。

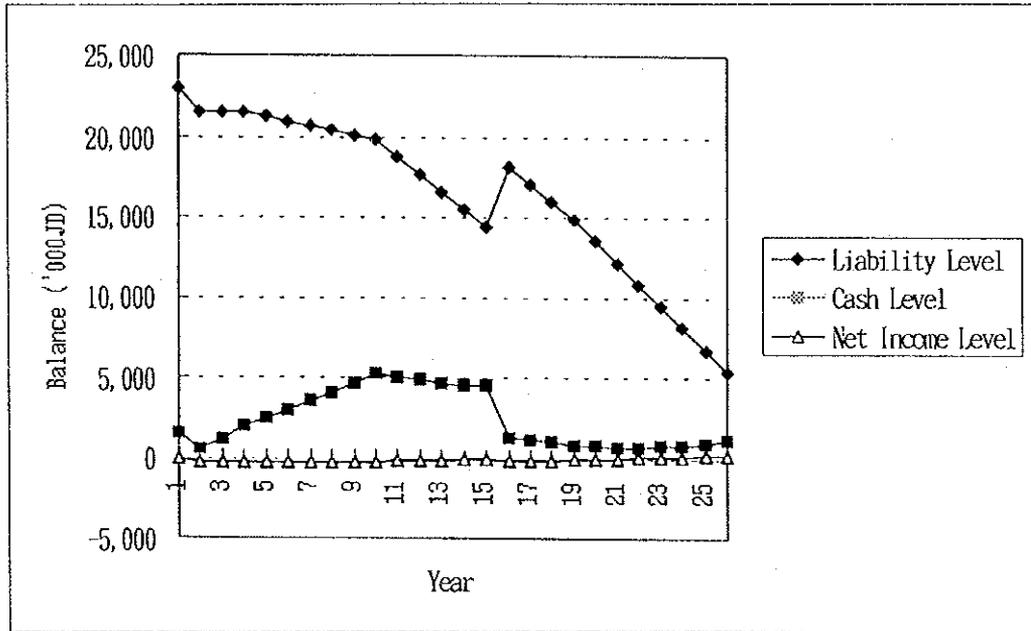


図 2. 7 優先プロジェクトの財務分析

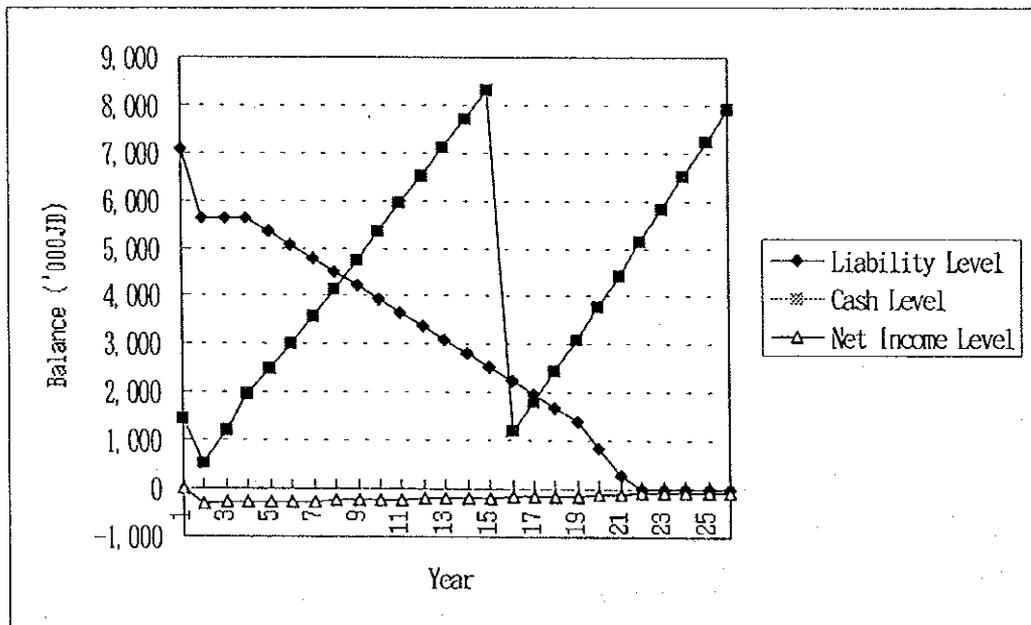


図 2. 8 優先プロジェクトの財務分析
(建設費の政府助成、ただし水道事業補助金は2分の1削減)

5. 優先事業

(1) 優先事業の選定

ジョルダン渓谷地域への生活・工業用水の給水を目的として、調査地域南部のヒスパン／カフレン地区でRO淡水化による年間6MCMの地下汽水開発（年間5MCMの給水）及び南北の送水幹線整備を優先事業とする。

代替案に関わる事業評価の結果を優先事業に集約すると以下ようになる。

a) 新水資源

ジョルダン国で、水資源は非常に限られており、通常の方法ではジョルダン渓谷にはアンマン首都圏の水源を分け合うことしかなかったのに対して、これまで使用されていない地下汽水を新たに開発することが必要である。

b) 需要充足

優先事業の実施によって、中東和平の中で開発ポテンシャルの高い、死海東岸を含む北部ジョルダン渓谷全域の、1998～2000年の需要を充足することが出来る。

c) 水価及び財務負担

淡水化技術の発展に伴う処理コストの低下により、水道事業として許容される給水コストが可能となっている。処理後の送配水費用については、ジョルダン渓谷内低地部への給水は、アンマンまでの送水よりはるかに安く、通常事業の範囲である。

d) 対象帯水層の水質及び水量

開発地点での対象汽水帯水層の水質は、調査地域の他の開発地点に比べ比較的良好で、RO淡水化に有利である。また、生産井は自噴井となることが想定され、年間6MCMの開発では、自噴圧の大きな低下はなく、揚水ポンプを必要としない。

e) 濃縮塩水処分

ROプラントの濃縮塩水は水質的に死海への放流が可能と判断される。優先事業では淡水化施設から死海までの距離が近いこと、開発規模が大きくなり、濃縮塩水の発生量が少ないため、小規模な管路方式の排水路により死海近くのワジに放流する。

(2) 概略設計

優先事業の概要を図2. 9に示す。これは、①取水井戸、②RO淡水化プラント、③送水幹線 (Kafrein-South Shuna と Kafrein-Muaddi) の建設を含む。

1) 設計条件

a) 地形/地質

取水井戸及び淡水プラントの計画地区 (図2. 10) は、死海の北東部のヒスバン地区に位置し、本地区は、ジョルダン溪谷の東斜面から平坦地に至る間の緩やかな丘陵地 (海拔-200~0 m) となっている。

本地区の地質は、下位より上位に向かってザルカ層群の砂岩・石灰岩、クルノブ砂岩、ジョルダンバレー層のマール・砂・礫等からなっている。

また、送水幹線はジョルダン溪谷の南北幹線道路 (海拔-200~-300 m) を沿って敷設する計画である。

b) 原水

- ・水源：調査区域南部ザルカ層群の地下汽水
- ・取水量：18,000m³/日
- ・水質：TDS=5,000mg/L

c) 水供給

- ・給水地区：ジョルダン溪谷南部の South Shuna と中部の Deir Alla 地区
- ・給水量：15,000m³/日
- ・水質：TDS=300mg/L

2) 施設概略設計

i) 取水井戸と集水管路

- ・井戸
 - 深さ：ザルカ層群帯水層を対象とし、350 mを想定する
 - 本数：6本
 - 取水量：125m³/hour/well
 - ケーシング材料：上部ステンレス、下部普通スチール
- ・集水管路
 - 配置：図2. 10に示している母管方式
 - 材料：硬質塩化ビニール管

ii) RO淡水化プラント

RO淡水化プラントのフローを図2. 11に示す。プラントは①前処理施設、②RO施設、③後処理施設、④排水処理施設により構成されている。

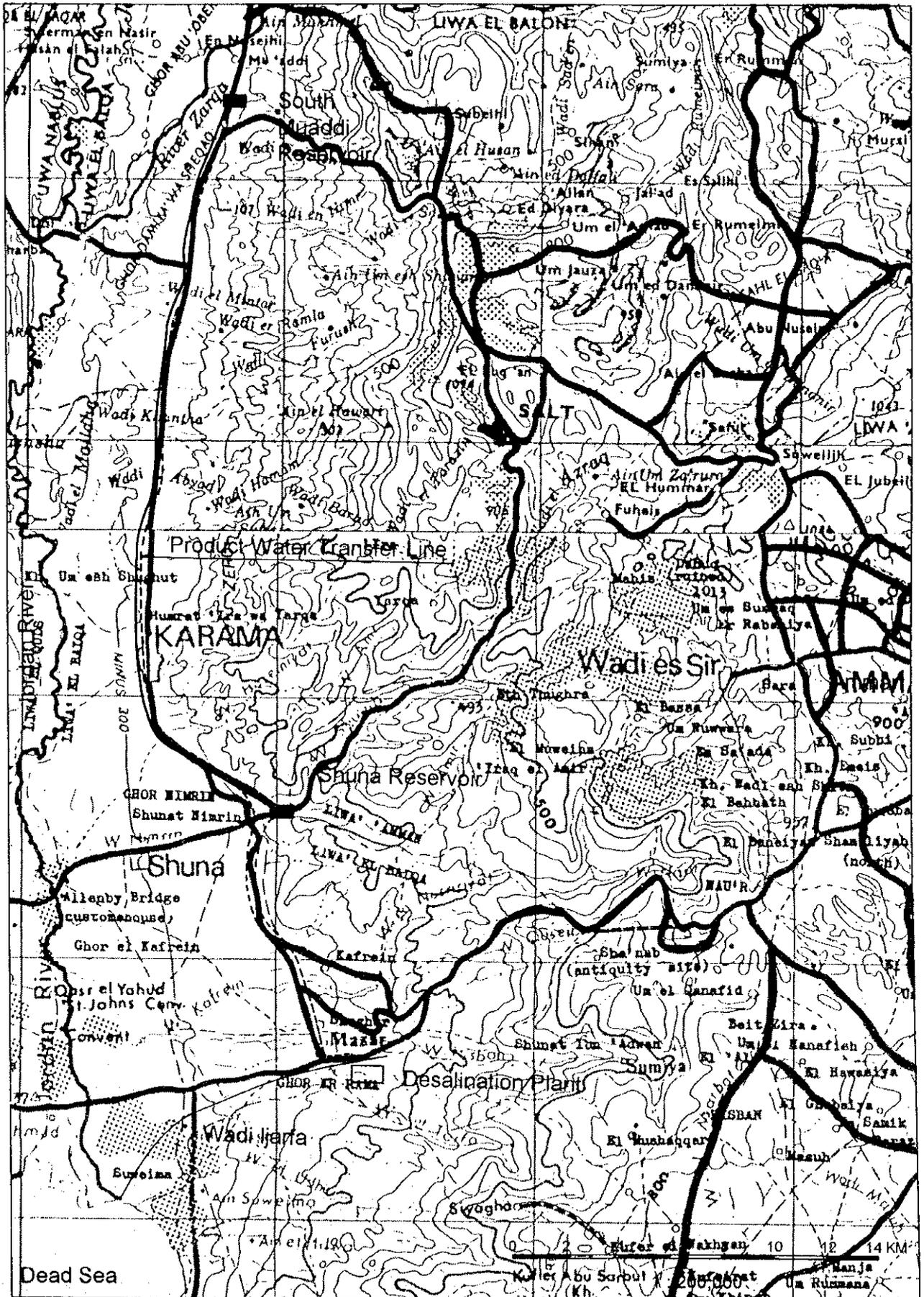


图2. 9 優先事業位置図

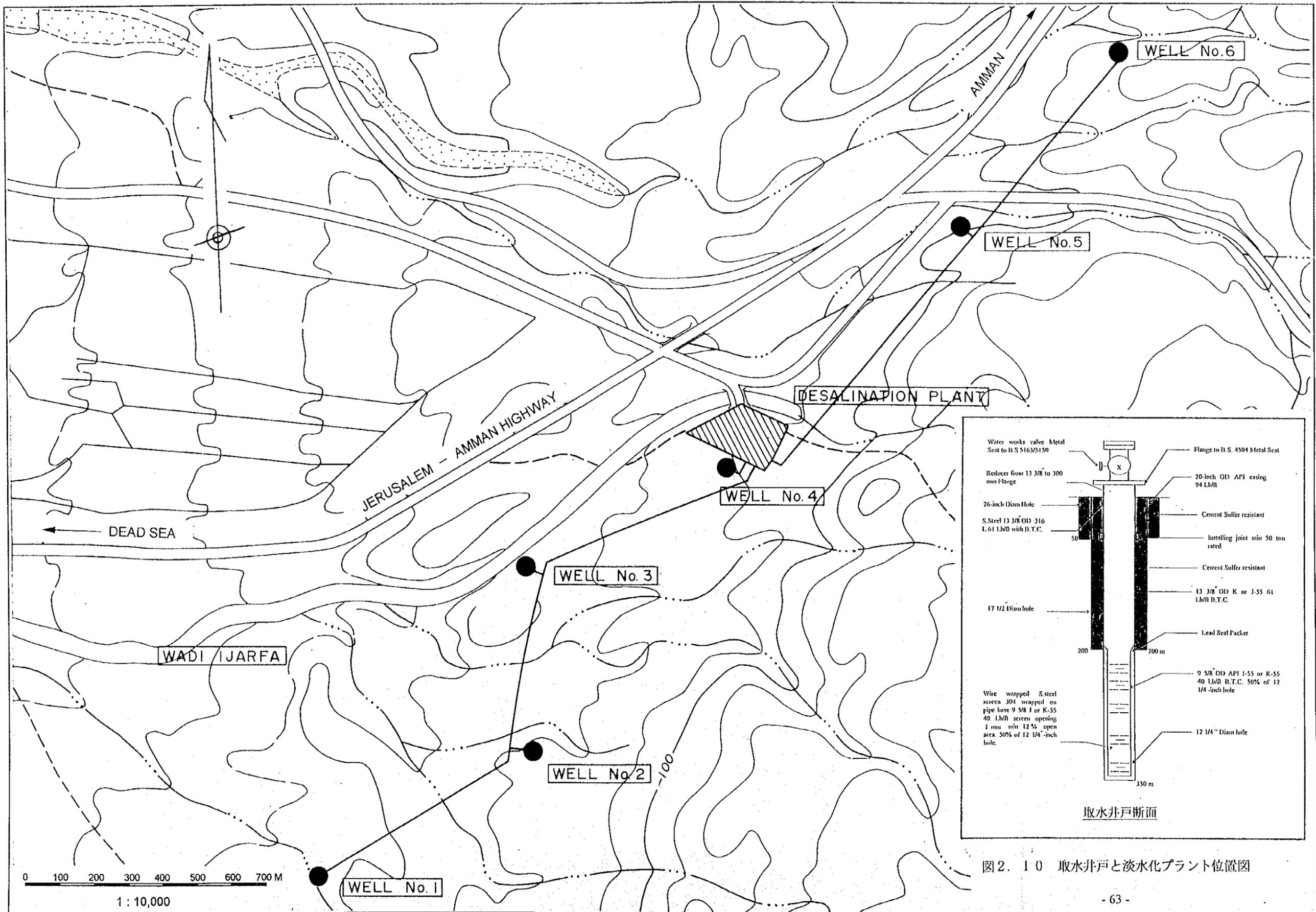


図 2. 10 取水井戸と淡水化プラント位置図

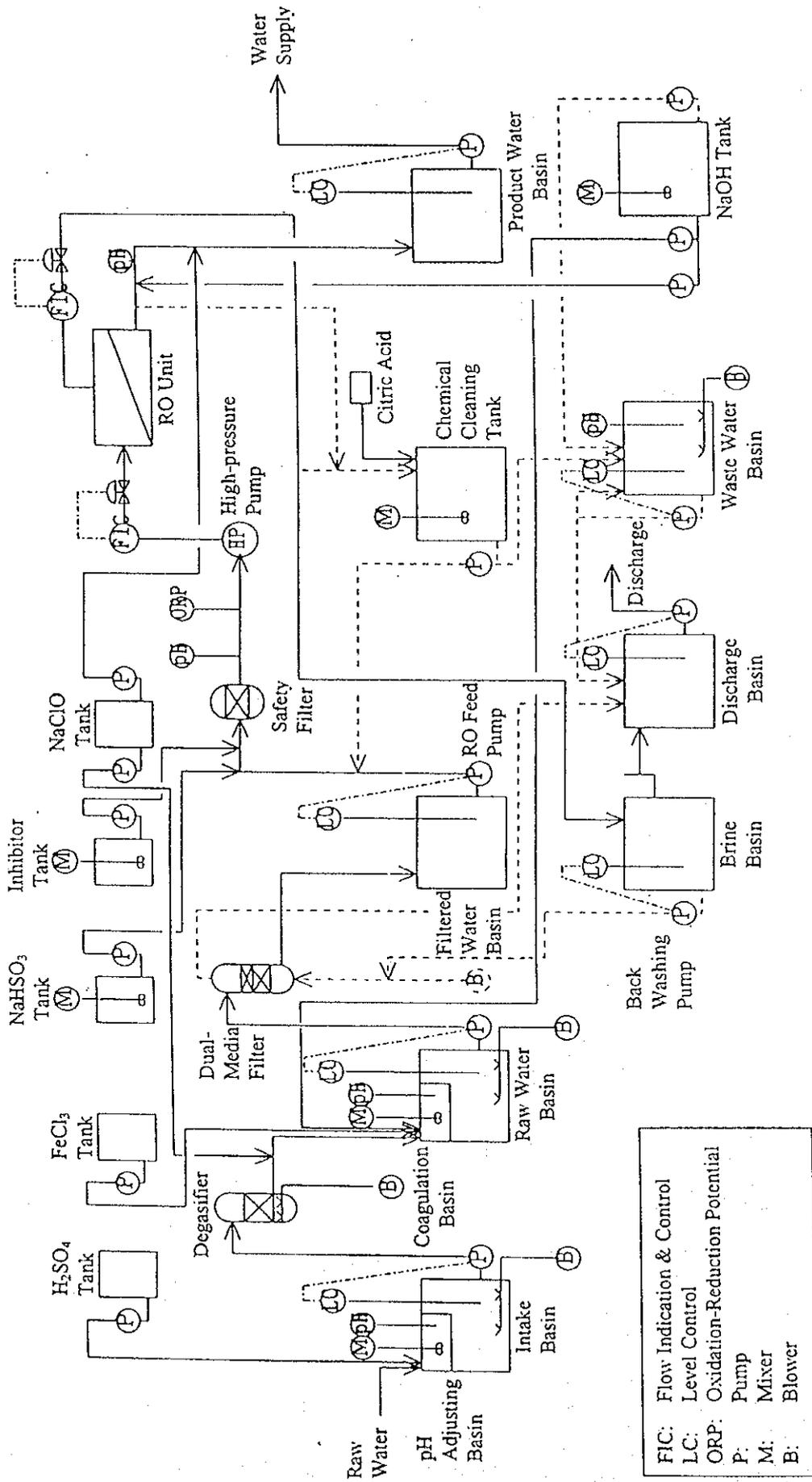


図 2. 1 1 淡水化プラントのフロー

a)前処理施設

表2. 21には、RO淡水化に際して原水中の不純物に対する一般的な前処理方式を示し、また、表2. 22には、RO膜にたいする影響について、ザルカ層群の地下汽水水質を検討した結果を示している。従って、懸濁質（濁度とSDI）、カルシウム、重炭酸、鉄と残留塩素を前処理によって除去或は制御することが必要になっている。ドラフト・ファイナル・レポートの段階で討論した油分対策については、その後汽水サンプルを採取して、更に日本で精密的な分析を行った結果、RO膜に影響を与えるほどの油分濃度ではないと判断されたため、油分を除去するための吸着塔を設置しないこととした。

本淡水化プラントに設置する主な前処理施設の概要は、下記のとおりである。

- ・塩素注入：有機物と鉄、マンガンを酸化する。
- ・pH調整：硫酸の添加により、重炭酸を $\text{HCO}_3 + \text{H} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ のような反応によって変化させ、また、pHを6.0程度に低下させる。
- ・脱気器：炭酸ガス（ CO_2 ）を水から脱気させる。
- ・凝集：凝集剤（ FeCl_3 ）を注入し、攪はんを加えて、水中の濁度等を凝集させる。
- ・アンスラサイド・砂二層ろ過器：凝集させた濁度等をろ過により除去する。
- ・脱塩素処理：還元剤（ NaHSO_3 ）の注入によって、水中の残留塩素を取る。
- ・スケール防止剤注入：スケール発生を防止する。

b)RO膜装置

RO膜装置は、安全フィルター、高圧ポンプと膜モジュールを含む。

・安全フィルター：水がRO膜モジュールに流入させる前に、最終的に異物の混入を防止するために、安全フィルターを設置する。

仕様： 25 ミクロン
材料： フェルト、焼結金属等
洗浄方式： カートリッジ交換、洗浄等

・高圧ポンプ設備：逆浸透を行うため、 $30\text{kg}/\text{cm}^2$ の高圧で、水を加圧する。

・RO膜モジュール：RO膜ユニットは淡水化プラントの心臓部で、そのエレメントは膜モジュールである。

膜種： 中空糸膜とのり巻き膜二種類が考えられるが、原水水質は比較的にファウリング物質が多く（ろ過後のSDIは4.0前後）、それに対して適性のあるのり巻き膜を採用する。

膜材質： セルロース・アセテート（CA）系とポリアミド（PA）系が考えられ、前者に比べ後者は比較的に所要の造水量を得るために低圧での運転が可能との利点がある。標準造水量は、8インチのモジュールではそれぞれ流束値で $10\sim 15\text{m}^3/\text{日}$ 、 $20\text{m}^3/\text{日}$ 程度が予測され、その差が大きいため、PA膜を採用する。

運転圧力： $25\sim 30\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度

サイズ： 8インチの膜モジュールを採用する。

回収率： 85%

表 2. 21 水中不純物と前処理方式

不純物	前処理方式	特徴
濁度・シリカ	(1) 二層ろ過	・懸濁物除去 ・低濁度と低シリカ濃度に適用 ・操作简单
	(2) 凝集・ろ過	・二層ろ過の直前に凝集剤注入 ・懸濁物とコロイド除去
	(3) 凝集・沈でん・ろ過	・高濁度に適用 ・凝集・沈でん施設要 ・操作複雑
有機物	(1) 凝集	・分子量の大きい有機物のみ除去
	(2) 酸化(塩素注入)	・一般的処理方式 ・操作简单
	(3) 活性炭吸着	・最も有効な処理法 ・操作简单 ・コスト高い
油分	(1) 浮上分離	・高濃度遊離状油分の分離に適用 ・操作简单
	(2) 凝集・加圧浮上	・遊離状・乳状・溶解状油分の分離に適用 ・操作複雑
	(3) ポリマー吸着	・遊離状油分の分離に適用 ・操作简单 ・コスト高い
	(4) 油性炭吸着	・すべての油分の分離に適用 ・操作简单 ・コスト最も高い
カルシウム (Ca)	(1) pH調整	・原水 pH を低下させることによって CaCO ₃ 生成防止 ・一般的かつ簡単な方法
	(2) スケール防止剤注入	・一般的処理方式
	(3) 軟化处理	・カルシウム濃度が極めて高い場合に 適用 ・操作、維持管理複雑
重炭酸 (HCO ₃)	酸注入・脱炭酸	・硫酸注入によって HCO ₃ を CO ₂ に変化 させ、脱気により除去 ・重炭酸濃度が高い場合に適用
鉄、マンガン (Fe、Mn)	酸化、ろ過	・還元性鉄、マンガン酸化させる ・不溶性鉄、マンガンは凝集剤としての役 割がある ・操作简单
残留塩素	(1) 還元剤添加	・一般的処理
	(2) 活性炭吸着	・コスト高い

表 2. 2 2 地下汽水中の不純物及び膜に対するその影響

不純物	濃度	膜に対する影響
濁度	>10 度	大
SDI	>5.0	大
シリカ	10~20 mg/L (SiO ₂ として)	小
カルシウム(Ca)	400~600 mg/L	大
重炭酸 (HCO ₃)	800~1,200 mg/L	大
鉄(Fe)	1~10 mg/L	大
マンガン(Mn)	1.0 mg/L 以下	小
バリウム(Ba)	0.03 mg/L 以下	微小
リン(P)	0.1 mg/L 以下 (PO ₄ として)	微小
残留塩素	—	大

c) 後処理

後処理は飲用水を供給するための最終的水質調整である。

・pH 調整：前処理に際して酸を添加するため、RO膜の透過水がなお酸性であり、そのまま飲料水として供給することはできない。このため苛性ソーダ (NaOH) を添加し、pH を中性付近まで調整する。

・塩素注入：水の消毒と残留塩素を添加するため、次亜塩素酸ソーダ (NaOCl) を注入する。

d) 薬品洗浄・洗浄廃水処理

RO膜処理では、上記の前処理によりスケール生成を完全に防止することは不可能で、定期的に化学洗浄により、膜のろ過機能を回復することが不可欠である。

・洗浄薬品：シトリック・アシッド

・洗浄頻度：約 3 ヶ月毎

また、洗浄により発生する洗浄廃水は、中和及び曝気による簡単な生物処理を行った後、濃縮塩水 (ブライン) と一緒に排水する。

e) 濃縮塩水放流

RO処理により、85%程度の回収率で透過水を得、その他の 15%は濃縮塩水になる。本計画では、ワディジャルファを排水路として用い、付近の井戸および耕作地に対する影響のない所まで管路による排水を行う (サポーティングレポート第 15 章参照)。

RO淡水化プラント全体の平面配置図は図 2. 1 2、断面図は図 2. 1 3 に示す。

iii) 送水施設

送水施設は、プラント内浄水池、送水ポンプ、送水幹線と加圧ポンプがある。

a) 浄水池

- ・容量： 4,000m³
- ・数量： 2 池 (2,000m³ X 2)

b) 送水ポンプ

- ・数量： 3 台 (予備 1 台含む)

- ・容量： 5.7m³/分
- ・揚程： 70m

c) 送水幹線

- ・長さ： 11km (Shuna Nimrin 貯水池まで)
41km (Muaddi 貯水池まで)
- ・管径： 300mm

iv) 電力設備

既設の 132kv 変電所より 33kv 送電線を新設し、RO 淡水化プラントと加圧ポンプに必要な電力を供給する。

3) 管理運営計画

i) 運転管理

RO 方式による淡水化装置は、不注意による RO 膜の回復不可能なスケール付着或は損傷をさせるため、監視システム付きの自動運転となり、通常の運転操作に際してはほとんど人手を必要としないが、機械及び計器が正常に作動しているか、水質的に安定した状態であるかどうか、巡視する必要がある。また、安定した処理性能を維持するために、1 回 / 3 ヶ月程度の頻度で定期的に膜モジュールを薬品洗浄する必要がある。処理性能の低下した膜モジュールに対し、年 20% 程度の膜の交換が必要となる。それらの運転管理の項目は下記のとおりである。

a) 日常管理項目

- ・運転データ：
水温、原水流量、処理水量、操作圧力、計器指示値、薬品添加量、
機械・計器稼働状況、送水状況その他
- ・水質データ：
pH、酸化還元電位(ORP)、汚れ指数(SDI)、電気伝導度(EC)、
その他飲料水基準項目

b) 定期管理項目

- ・薬品調整及び補充 (周に 1 回程度)：
硫酸、次亜塩素酸ソーダ、苛性ソーダ、インヒビーター、亜硫酸ソーダ
- ・安全フィルター交換 (3 ヶ月に 1 回)
- ・RO モジュール化学洗浄 (3 ヶ月に 1 回)
- ・RO 膜モジュール交換 (年間 20% 程度)

ii) 管理体制

管理体制としては、交替勤務者が運転管理を 4 組交替で実施し、守衛による安全管理も同様に行う。日勤は主として薬品の補充、フィルターの交換、膜の洗浄運転、機器のメンテナンス、水質分析、運転データ整理、送水管理等の業務を実施する。また、夜間の異常時の緊急補助業務も行う。施設規模によって、必要な管理体制は表 2. 23 の示すようにする。

表 2. 23 管理体制

管理体制		人数
日 勤	所長	1
	事務	1
	水質分析	1
	運転管理（化学）	2
	運転管理（機械）	1
	運転管理（電気）	2
	送水管理	0
	井戸管理	1
交 替	運転管理	2 x 4
	守衛（安全）	1 x 4
合計		21名

iii) 薬品使用量

RO 処理に下記の薬品が必要である。

a) 硫酸 (H_2SO_4)

原水中には比較的高い濃度のカルシウム (Ca)、重炭酸 (HCO_3) イオンが含有され、RO 処理の際に炭酸カルシウム ($CaCO_3$) の生成によるスケーリングが予想されるため、原水に硫酸を添加することにより HCO_3 を除去し、pH を 6.0 程度まで調整することが必要になる。原水を用いてピーカテストを行った結果、pH 調整に必要な硫酸注入量は約 600mg/L である。

b) 次亜塩素酸ソーダ ($NaOCl$)

原水中に 2 価の鉄 (Fe) イオンが 2mg/L 程度含有されるため、酸化剤を添加してそれを酸化し、不溶水酸化物として析出させる。酸化剤としての次亜塩素酸ソーダの添加量が 5mg/L である。

c) 凝集剤 ($FeCl_3$)

添加量が 3mg/L 程度。

d) スケール防止剤 (SHMP 或は FLOCON-100)

RO 膜内でのスケール生成を防止するために、ヘキサメタリン酸ソーダ (SHMP) 或は高分子インヒビターである FLOCON-100 を使用する。注入率は 3mg/L 程度である。

e) 還元剤 ($NaHSO_3$)

ろ過処理水中には酸化剤の塩素が残留する。RO 膜は塩素に弱いので、還元剤で脱塩素処理を行う。注入率は 2mg/L である。

f) 苛性ソーダ ($NaOH$)

前処理で処理水を酸性側に調整されているため、RO 透過水の pH が低い。苛性ソーダの添加により、処理水の pH を中性付近まで調整する。注入率は 20mg/L 前後である。

g) クエン酸

RO 膜定期洗浄用。3 ヶ月毎に 360kg 程度の使用量である。

iv) 水質分析項目

水質管理のための水質分析は、表 2. 24 に示している項目について行う。

表 2. 24 水質分析項目

水質項目	原水	処理水
電気電導度	○	○
pH	○	○
水温	○	
塩素イオン (Cl)	○	○
重炭酸イオン (HCO ₃)	○	○
硫酸イオン (SO ₄)	○	○
ナトリウム (Na)	○	○
カルシウム (Ca)	○	○
マグネシウム (Mg)	○	○
鉄イオン (Fe)	○	○
COD	○	
シリカ (SiO ₂)	○	○
残留塩素		○
大腸菌群		○

v) 機械設備運転管理

機械設備は、原水設備、前処理設備、RO 設備と送水設備の 4 部分により構成されている。

a) 原水設備

原水設備は、井戸と導水管路がある。運転管理は、下記の項目を常時にチェックする。

- ・各井戸の流量
- ・受水タンクへの流量

b) 前処理設備

前処理設備について、常時チェック項目は下記のようなものである。

- ・原水ポンプ流量、運転状況
- ・脱炭酸装置の運転状況
- ・ろ過池送水ポンプの流量・運転状況
- ・ろ過池の運転状況
- ・薬品注入量、注入設備の運転状況（硫酸、次亜塩素酸ソーダ、凝集剤等）

c) RO 設備

RO 設備は、プラントの心臓部分であり、下記の項目について、運転状況を常時にチ

チェックする。

- ・ 流入水質（電気伝導度、pH、SDI、水温、酸化還元電位）
- ・ 操作圧力
- ・ 各膜ユニットの運転データ（圧力低下、透過水量、透過水電気伝導度）
- ・ 全透過水量、透過水圧力、透過水電気伝導度
- ・ 濃縮塩水流量、pH、電気伝導度
- ・ ポンプ類運転状況

d) 送水設備

送水設備は貯水池、送水ポンプを含む。そのチェック項目は

- ・ 貯水池水位
- ・ 送水ポンプ流量、運転状況

vi) 電気設備の運転管理

電気設備は、制御設備（制御盤、操作盤）と駆動設備（電動機類）を含むが、電動機類は機械設備を駆動するので、上述した機械設備と同時に運転管理を行う。

vii) メンテナンス管理

施設のメンテナンスは、下記の内容を含む。

a) 薬品補充と薬品注入設備の定期点検

これについては日勤の化学担当の技術者を中心に実施する。

b) 機械設備の点検・修理

フィルターの交換、RO ユニットの化学洗浄、RO 膜の交換等を含む機械設備の点検・修理は、日勤の機械担当の技術者を中心に実施する。

c) 電気設備の点検

電気設備、計器設備の点検と修理は、日勤の電気担当の技術者を中心に実施する。

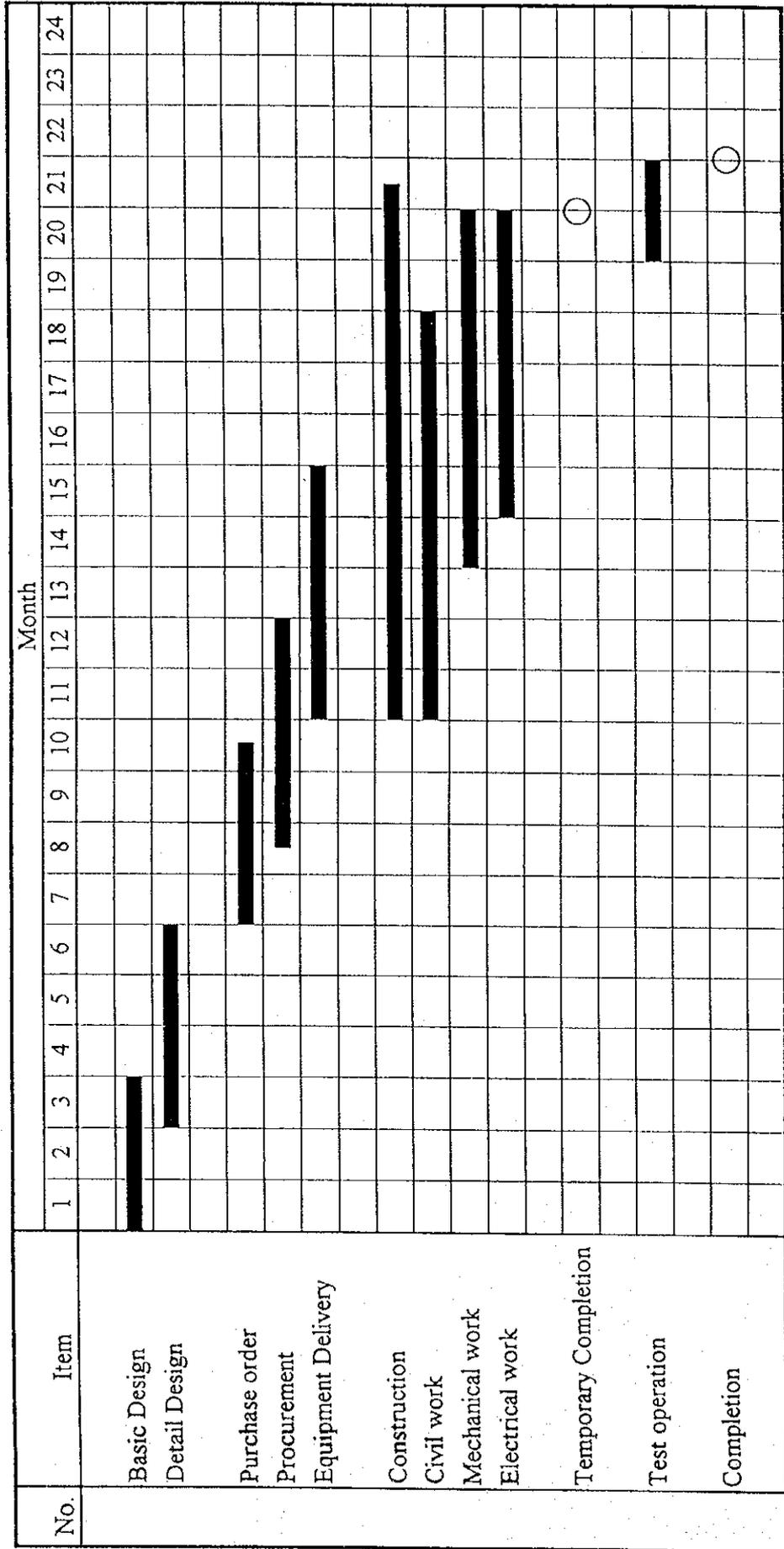
4) 事業費用

事業費用は、4の（1）に記述したように、優先事業（代替案D）の建設費は2,972百万円、年間運転・維持管理費は182百万円との概算である。

5) 建設期間

優先事業の建設期間は図2.14に示すように、基本設計から事業完成まで、21ヶ月が必要とする。

図 2. 1 4 優先事業の建設期間



6. 事業実施計画

(1) 開発戦略

1) 和平条約による水資源

和平条約に基づく水資源の開発および利用は環境が整い次第、優先的に実施されるものとする。

2) 用途・給水対象地域

淡水化による地下汽水の開発は、開発および供給のコストの理由で、生活用水および工業用水の利用に限られるべきで、農業用水としての利用は考えない。

ジョルダンバレーおよびアンマン市への給水を考える。北部4州へはアンマン市へ給水することで需給不足の緩和を図る。

3) 開発地点・量

ヒスバン/カフレン地区

調査地域南部のヒスバン/カフレン地区での、ジョルダンバレーへの生活用水・工業用水の給水を目的とした淡水化による6 MCM/年の地下汽水開発には最優先の開発順序が与えられなければならない。

ヒスバン・カフレン地区での、アンマン市への給水を目的とした39 MCM/年の地下汽水淡水化計画は、ジョルダン南部のディシ化石水開発との比較で詳細な妥当性調査を実施し決定する。本調査の概略検討の範囲ではディシ開発の後となるとの評価を得た。

デルアラ地区

調査地域北部のデルアラ地区でのジョルダンバレーへの生活用水・工業用水の給水を対象とした淡水化による14 MCM/年（造水量11 MCM/年）の地下汽水開発は、ジョルダンバレーの1998年以降の需要を満たすため考えられなければならないが、濃縮塩水の処理を単独事業で対応することには、経済的な面で無理がある。北のタイベリアス湖から死海の北部までのジョルダンバレー東岸、西岸全体での、ジョルダン川の水質保全を目的とし、塩水泉、農業排水、淡水化施設からの濃縮塩水の排水を可能とする「共通塩水排水路」といった概念でとらえられる事業の実施が条件となる。

デルアラ地区でのアンマン市への給水を目的とした全開発可能量30 MCM/年の地下汽水淡水化計画は、上記の「共通塩水排水路」の実施が確認されたあと、和平条約によるヤルムーク川水系表流水のジョルダンへの再配分水量の既設デルアラライザイ揚水ポンプ幹線の利用計画を含めたアンマン首都圏への送水施設建設計画に織り込まなければならない。

(2) 実施計画および資金計画

開発戦略に基づく実施計画は、和平条約によるヤルムーク川の表流水再配分、あるいは、既往水資源開発計画（特に、南部ディシ化石水開発）の進展等、ジョルダン国全体の水資源開発計画に大きな影響を与える部分で最終結果が出ていないため、描ききれない面がある。これらに対する結果を調査団独自で想定し策定した開発戦略および所要資金計画（2010年までの）を参考として表2.25に示す。

表 2. 2. 5 地下水淡水化開発戦略

開発プロジェクト	開発年														
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
(デル・アラ地点) 共通非水路建設 24 MCM/年 淡水化 (A 案)															
(カフレン地点) 6 MCM/年 淡水化 (D 案)															
31 MCM/年 淡水化 (C 案)															
(デシイ) 7.5 MCM/年 取水															
水供給量 (MCM/年)				5	5	5	80	80	80	80	80	80	111	111	111
必要投資額 (百万JD)	10.8	10.8	81.8	81.8	81.8	18.2	18.2	18.2	18.2	66.2	66.2	66.2	14.6	14.6	14.6
運転・維持管理費 (百万JD)	0	0	1.1	1.1	1.1	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	18.1	18.1	18.1
平均水価 (JD/m ³)*			0.52	0.52	0.52	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.46	0.46	0.46

注*：水総局の給水コストは、現在1 m³当たりJD 0.307である。
資料：JICA調査団。

7. 勧告

(1) 優先事業に関わる勧告

a) 淡水化技術の習得

淡水化施設建設による水道事業の開始に際して、水総局、ジョルダン溪谷庁の研究所の水処理専門家を組織し、開発予定地点での水質に関して適用淡水化技術の研究を進める。また、施設管理および運転要員の育成を開始する。

b. 水質の長期的監視

開発予定地点の水質は本調査で報告されたとおり、淡水化処理にとって障害となる水質成分を含んでいる。特に油分については淡水化設備にとって少量の存在も問題となり、計画上の重要課題となる。対象帯水層の水質調査を計画的に行い成分および濃度の分析資料を蓄積することを勧告する。

(2) その他の勧告

a. 長期モニタリング

本調査で掘削された6本の試験井、既存の対象帯水層井戸および塩水泉によるモニタリング網を構築し、ザルカ層群の地下汽水について長期の定期的な水位（あるいは水圧）および水質の監視を行う。特に優先事業の実施前のデータを十分に確立しておくことが重要である。

b. 濃縮塩水共同排水路の整備

ジョルダン溪谷には、調査対象地域外にも多くの塩水泉、地下汽水の存在が予測され、淡水化による開発の可能性がある。また、これらの淡水化施設からの濃縮塩水の他にも農業用水の排水、塩水泉等からの流入があり、ジョルダン川の水質保全のためには、それらを総合的に排出する共同排水路の整備が不可欠であると考えられる。そのための詳細な調査の実施を勧告する。

c. 和平条約の実行・進展にともなう計画の見直し

ジョルダン・イスラエル二国の和平条約が本調査期間中に締結され、水資源の配分についての合意がなされている。これらの合意事項の実施により本調査で作成した開発戦略は見直しの必要がある。主な項目は以下である。

- －水資源開発計画の順序および開発量の変更
- －給水対象地域の変更（ジョルダン川西岸への給水等）
- －和平に基づく新しい地域開発計画による水需要の変化

d. 地下汽水調査の拡大

本調査の調査対象地域以外にも、地下汽水の存在が予測される地域が、ジョルダン全国でいくつか報告されている。本調査により、ある一定の条件下では淡水化による汽水開発が可能との結論が得られており、この貴重な水資源に対し、長期的な視野の下で賦存量の把握を行うことを勧告する。

JICA