

資料6 ポンプ・モータ及び主要付帯機器チェックリスト

Present Condition and Rehabilitation Plan for Zai Pumping Station

As of 15th July 2019

Past History	Present Condition	Rehabilitation Plan
1. Leave the original equipment	a. Good condition	Blank. No repair or replacement are required.
2. Repaired	b. Good but minor troubles are occurred.	I. Repair is necessary
3. Replaced with spare parts	c. Repair or replacement of parts are required.	II. Replacement of major parts is required
4. Replaced with new complete equipment	d. Out of order or performance degradation	III. Replacement with new complete equipment is required

Facility	Main Equipment	Q'ty	Manufacture	Installed year	Past History	Present Condition	Rehabili Plan	Comment on 2017	Comment on 2018	Comment on 2019
Intake Structure No.1	Trash rake screen	1	Geiger	2003	2	b				Some parts such as bearings were procured locally and repaired
	Motor operated sluice gate	1	Kurimoto	2003	1	a				
Intake Structure No.2	Trash rake screen	1	Geiger	1985	2	b				Some parts such as bearings were procured locally and repaired
	Motor operated sluice gate	1		1985	1	a				

Facility	Main Equipment	Q'ty	Manufacture	Installed year	Past History	Present Condition	Rehabili Plan	Comment on 2017	Comment on 2018	Comment on 2019
Intake PS No.1	Intake pump	1	Ebara	2003	1	d	III		Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Electric motor	1	ABB	2003	3	d	III	Bearings replacement 03/2016	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Motor operated butterfly valve	1	Showa	2003	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Check valve	1	Showa	2003	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Discharge pipe	1	-	2003	1	a				
	Travelling screen	1	Us Filter	2003	2	d	III			Totally repaired with local spare parts Replacement with new complete equipment is required
	Compressor for travelling screen	1	Atlas copco	2003	1	b				
	Ultrasonic Flow Meter	1	Endress & Housers	2003	1	c				Calibration is required
Intake PS No.2	Intake pump	1	Ebara	2003	1	d	III		Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Electric motor	1	ABB	2003	3	d	III	Bearings replacement 08/2017	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Motor operated butterfly valve	1	Showa	2003	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Check valve	1	Showa	2003	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Discharge pipe	1	-	2003	1	a				
	Travelling screen	1	Ube	1985	2	d	III			Unit is out of service Replacement with new complete equipment is required
Intake PS No.3	Intake pump	1	Ebara	2003	2	d	III	Bearings replacement 11/2015	Not repaired and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Electric motor	1	ABB	2015	4	a		new motor 11/2015 (Miyahuna warehouses)	Replaced in (2015) with new complete equipment from stock	
	Motor operated butterfly valve	1	Showa	2003	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Check valve	1	Showa	2003	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Discharge pipe	1	-	2003	1	a				
	Travelling screen	1	Ube	1985	2	d	III			Repaired with local spare parts Replacement with new complete equipment is required
Intake PS No.4	Intake pump	1	Ebara	2018	4	a			Replaced in (02/2018) with new complete equipment from stock	
	Electric motor	1	ABB	2003	3	d	III	Bearings replacement 03/2017	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Motor operated butterfly valve	1	Showa	2003	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Check valve	1	Showa	2003	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Discharge pipe	1	-	2003	1	a				
	Travelling screen	1	US Filter	2003	2	d	III			Repaired with local spare parts Replacement with new complete equipment is required

Facility	Main Equipment	Q'ty	Manufacture	Installed year	Past History	Present Condition	Rehabili Plan	Comment on 2017	Comment on 2018	Comment on 2019
PS1 No.1	Booster pump	1	Ebara	1998	2	d	III	rotor assembly 09/2016	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Electric motor	1	Fuji	1998	3	d	III	Bearings replacement 11/2014	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated Suction gate valve	1		1998	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated gate valve	1	Showa	2015	4	a		New valve 05/2015 (Gulf grant)		
	Motor operated ball valve	1	Kitamura	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Check valve	1	APCO	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Suction and discharge pipe	1	-	1998	1	a				
	Ultrasonic Flow Meter	1	Yocogawa	1998	1	c				Calibration is required
	Compressor for surge vessel	1	Kaji	1998	1	c				
PS1 No.2	Main header discharge pipe (collector) Ø1000 mm	1	-	1885	1	c	II	* Repaired locally 12/2013 * This item added by Miyahuna (new pump 03/2013 (Miyahuna warehouses))		End cup should be replaced with new one. & the header pipe should be tested
	Booster pump	1	Ebara	2013	4	c			Replaced in (02/2013) with new complete equipment from stock	
	Electric motor	1	Fuji	2000	2	d	III	Motor rewinding 03/2015	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated Suction gate valve	1		2000	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated gate valve	1	Showa	2015	4	a		New valve 05/2015 (Gulf grant)		
	Motor operated ball valve	1	Kitamura	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Check valve	1	APCO	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Suction and discharge pipe	1	-	2002	1	a				
	Compressor for surge vessel	1	Kaji	1998	1	c				
PS1 No.3	Booster pump	1	Ebara	2000	2	d	III	rotor assembly 03/2016	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required

PS1 No.3	Electric motor	1	Fuji	2000	2	d	III	Motor rewinding 12/2016	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated Suction gate valve	1		2000	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated gate valve	1	Showa	2015	4	a		New valve 05/2015 (Gulf grant)		
	Motor operated ball valve	1	Kitamura	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Check valve	1	APCO	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Suction and discharge pipe	1	-	2002	1	a				
PS1 No.4	Booster pump	1	Ebara	2000	2	d	III	rotor assembly 02/2015	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Electric motor	1	Fuji	2000	2	d	III	Motor rewinding 06/2016	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated Suction gate valve	1		2000	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated gate valve	1	Showa	2015	4	a		New valve 05/2015 (Gulf grant)		
	Motor operated ball valve	1	Kitamura	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Check valve	1	APCO	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Suction and discharge pipe	1	-	2002	1	a				

Facility	Main Equipment	Q'ty	Manufacture	Installed year	Past History	Present Condition	Rehabili Plan	Comment on 2017	Comment on 2018	Comment on 2019
PS2 No.1	Booster pump	1	Ebara	1998	2	d	III	rotor assembly 10/2016	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Electric motor	1	Fuji	1999	2	d	III	Motor rewinding 09/2017	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated Suction gate valve	1		1998	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated gate valve	1	Showa	2015	4	a		New valve 05/2015 (Gulf grant)		
	Motor operated ball valve	1	Kitamura	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Check valve	1	APCO	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Suction and discharge pipe	1	-	1998	1	a				
	Compressor for surge vessel	1	Kaji	1998	1	c				
PS2 No.2	Main header discharge pipe (collector) Ø1000 mm	1	-	1985	2	c	II	* Repaired locally 12/2013 * This item added by Miyahuna		End cup should be replaced with new one. & the header pipe should be tested
	Booster pump	1	Ebara	2015	4	a		new pump 10/2015 (Gulf grant)	Replaced in (08/2015) with new complete equipment procured	
	Electric motor	1	Fuji	2000	2	d	III	Motor rewinding 12/2011	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated Suction gate valve	1		2000	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated gate valve	1	Showa	2015	4	a		New valve 05/2015 (Gulf grant)		
	Motor operated ball valve	1	Kitamura	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Check valve	1	APCO	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Suction and discharge pipe	1	-	2002	1	a				
PS2 No.3	Compressor for surge vessel	1	Kaji	1998	1	c				
	Booster pump	1	Ebara	2013	4	c		new pump 03/2013 (Miyahuna warehouses)	Replaced in (03/2013) with new complete equipment from stock	
	Electric motor	1	Fuji	2016	4	a		new motor 02/2016	Replaced in (2016) with new complete equipment procured by	
	Hand operated Suction gate valve	1		2000	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated gate valve	1	Showa	2015	4	a		New valve 05/2015 (Gulf grant)		
	Motor operated ball valve	1	Kitamura	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Check valve	1	APCO	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Suction and discharge pipe	1	-	2002	1	a				
PS2 No.4	Booster pump	1	Ebara	2000	2	d	III	rotor assembly 05/2011	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Electric motor	1	Fuji	2000	1	d	III		Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated Suction gate valve	1		2000	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated gate valve	1	Showa	2015	4	a		New valve 05/2015 (Gulf grant)		
	Motor operated ball valve	1	Kitamura	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Check valve	1	APCO	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Suction and discharge pipe	1	-	2002	1	a				

Facility	Main Equipment	Q'ty	Manufacture	Installed year	Past History	Present Condition	Rehabili Plan	Comment on 2017	Comment on 2018	Comment on 2019
PS3 No.1	Booster pump	1	Ebara	1998	2	d	III	rotor assembly 11/2016	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Electric motor	1	Fuji	1998	2	d	III	Motor rewinding 06/2017	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated Suction gate valve	1		1998	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated gate valve	1	Showa	2015	4	a		New valve 05/2015 (Gulf grant)		
	Motor operated ball valve	1	Kitamura	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Check valve	1	APCO	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Suction and discharge pipe	1	-	1998	1	a				
	Compressor for surge vessel	1	Kaji	1998	1	c				
PS3 No.2	Main header discharge pipe (collector) Ø1000 mm	1	-	1885	1	c	II	* Repaired locally 12/2013 * This item added by Miyahuna		End cup should be replaced with new one. & the header pipe should be tested
	Booster pump	1	Ebara	2002	2	d	III	rotor assembly 09/2017	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Electric motor	1	Fuji	2002	1	d	III		Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated Suction gate valve	1		2000	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated gate valve	1	Showa	2015	4	a		New valve 05/2015 (Gulf grant)		
PS3 No.2	Motor operated ball valve	1	Kitamura	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		

	Check valve	1	APCO	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Suction and discharge pipe	1	-	2002	1	a				
	Compressor for surge vessel	1	Kaji	1998	1	c				
PS3 No.3	Booster pump	1	Ebara	2002	2	d	III	rotor assembly 05/2010	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Electric motor	1	Fuji	2016	2	a		Motor rewinding 03/2010	Replaced in (2016) with new complete equipment procured by	
	Hand operated Suction gate valve	1		2000	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated gate valve	1	Showa	2015	4	a		New valve 05/2015 (Gulf grant)		
	Motor operated ball valve	1	Kitamura	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Check valve	1	APCO	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Suction and discharge pipe	1	-	2002	1	a				
PS3 No.4	Booster pump	1	Ebara	2002	2	d	III	rotor assembly 10/2016	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Electric motor	1	Fuji	2015	4	a		new motor 06/2015 (Gulf grant)	Replaced in (2014) with new complete equipment procured by	
	Hand operated Suction gate valve	1		2000	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated gate valve	1	Showa	2015	4	a		New valve 05/2015 (Gulf grant)		
	Motor operated ball valve	1	Kitamura	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Check valve	1	APCO	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Suction and discharge pipe	1	-	2002	1	a				

Facility	Main Equipment	Q'ty	Manufacture	Installed year	Past History	Present Condition	Rehabili Plan	Comment on 2017	Comment on 2018	Comment on 2019
PS4 No.1	Booster pump	1	Ebara	1998	2	d	III	rotor assembly 07/2017 (Miyahuna warehouses)	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Electric motor	1	Fuji	2011	4	a		new motor 04/2011 (Miyahuna warehouses)	Replaced in (2009) with new complete equipment procured by	
	Hand operated Suction gate valve	1		1998	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated gate valve	1	SHOWA	2015	4	a		New valve 05/2015 (Gulf grant)		
	Motor operated ball valve	1	Kitamura	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Check valve	1	APCO	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Suction and discharge pipe	1	-	1998	1	a				
	Ultrasonic Flow Meter	1	Yocogawa	1998	1	c				Calibration is required
	Compressor for surge vessel	1	Kaji	1998	1	c				
PS4 No.2	Main header discharge pipe (collector) Ø1000 mm	1	-	1885	2	c	II	* Repaired locally 02/2013 * This item added by Miyahuna		End cup should be replaced with new one. & the header pipe should be tested
	Booster pump	1	Ebara	2015	4	a		new pump 11/2015 (Gulf grant)	Replaced in (10/2015) with new complete equipment procured	
	Electric motor	1	Fuji	2016	4	a		new motor 06/2016 (Miyahuna warehouses)	Replaced in (2008) with new complete equipment procured by	
	Hand operated Suction gate valve	1		1998	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated gate valve	1	Showa	2015	4	a		New valve 05/2015 (Gulf grant)		
	Motor operated ball valve	1	Kitamura	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Check valve	1	APCO	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Suction and discharge pipe	1	-	2002	1	a				
	Compressor for surge vessel	1	Kaji	1998	1	c				
PS4 No.3	Booster pump	1	Ebara	2002	2	d	III	rotor assembly 02/2014	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Electric motor	1	Fuji	2017	4	a		new motor 10/2017 (Miyahuna warehouses)	Replaced in (2017) with new complete equipment procured by	
	Hand operated Suction gate valve	1		1998	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated gate valve	1	Showa	2015	4	a		New valve 05/2015 (Gulf grant)		
	Motor operated ball valve	1	Kitamura	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Check valve	1	APCO	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Suction and discharge pipe	1	-	2002	1	a				
PS4 No.4	Booster pump	1	Ebara	2002	2	d	III	rotor assembly 01/2016	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Electric motor	1	Fuji	2017	4	a		new motor 10/2016 (Miyahuna warehouses)	Replaced in (2017) with new complete equipment procured by	
	Hand operated Suction gate valve	1		1998	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated gate valve	1	Showa	2015	4	a		New valve 05/2015 (Gulf grant)		
	Motor operated ball valve	1	Kitamura	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Check valve	1	APCO	2015	4	a		New valve 06/2015 (Gulf grant)		
	Suction and discharge pipe	1	-	2002	1	a				

Facility	Main Equipment	Q'ty	Manufacture	Installed year	Past History	Present Condition	Rehabili Plan	Comment on 2017	Comment on 2018	Comment on 2019
PS5 No.1	Transfer pump	1	Ebara	2003	2	d	III	rotor assembly 05/2015	Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Electric motor	1	ABB	2003	1	d	III		Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated Suction gate valve	1		2003	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated gate valve	1	Showa		1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Motor operated ball valve	1	DPV	2018	1	a				
	Check valve	1	APCO	2003	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Suction and discharge pipe	1	-	2003	1	a				
	Compressor for surge vessel	1	Mikuni	2003	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Ultrasonic Flow Meter	1	ABB	2003	1	c				Calibration is required

	Main header discharge pipe (collector) Ø1000 mm	1	-	1985	2	c	II	* Repaired locally 12/2013 * This item added by Miyahuna		End cup should be replaced with new one. & the header nine should be tested
PS5 No.2	Transfer pump	1	Ebara	2003	1	d	III		Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Electric motor	1	ABB	2003	1	d	III		Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated Suction gate valve	1		2003	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated gate valve	1		1885	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Motor operated ball valve	1	Kitamura	2003	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Check valve	1	APCO	2003	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Suction and discharge pipe	1	-	2003	1	a				
	Compressor for surge vessel	1	Mikuni	2003	1	d				Replacement with new complete equipment is required
PS5 No.3	Transfer pump	1	Ebara	2003	1	d	III		Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Electric motor	1	ABB	2003	1	d	III		Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated Suction gate valve	1		2003	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated gate valve	1		2003	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Motor operated ball valve	1	Kitamura	2003	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Check valve	1	APCO	2003	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Suction and discharge pipe	1	-	2003	1	a				
PS5 No.4	Transfer pump	1	Ebara	2018	2	a		rotor assembly 12/2008	Replaced in (02/2018) with new complete equipment from stock	
	Electric motor	1	ABB	2003	1	d	III		Many repairs carried out and should be replaced	Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated Suction gate valve	1		2003	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Hand operated gate valve	1		1885	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Motor operated ball valve	1	Kitamura	2003	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Check valve	1	APCO	2003	1	d				Replacement with new complete equipment is required
	Suction and discharge pipe	1	-	2003	1	a				

Spare Parts in Stock

Facility	Main Equipment	Q'ty	Spare Parts (2017)	Spare Parts (2018)	Spare Parts (2019)
Intake PS	Intake pump	4	Impeller x 1	No new spare pump	
	Electric motor	4	Complete motor x 1	No new spare motor	
	Motor operated butterfly valve	4			
	Check valve	4			
	Travelling screen	4			
PS1	Booster pump	4	Complete pump x 1	No new spare pump	
	Electric motor	4		No new spare motor	
	Hand operated gate valve	4			
	Motor operated ball valve	4			
	Check valve	4			
PS2	Booster pump	4	Complete pump x 1	No new spare pump	
	Electric motor	4		No new spare motor	
	Hand operated gate valve	4			
	Motor operated ball valve	4			
	Check valve	4			
PS3	Booster pump	4		No new spare pump	
	Electric motor	4		Spare motor procured by Miyahuna budget in the 2014	
	Hand operated gate valve	4			
	Motor operated ball valve	4			
	Check valve	4			
PS4	Booster pump	4		No new spare pump	
	Electric motor	4		Spare motor procured by Miyahuna budget in the 2018	
	Hand operated gate valve	4			
	Motor operated ball valve	4			
	Check valve	4			
PS5	Transfer pump	4	Complete Pump x 2 Impeller x 1	No new spare pump	
	Electric motor	4	Complete motor x 1	Spare complete motor in stock procured in 2002 through KFW expansion project	
	Hand operated gate valve	4			
	Motor operated ball valve	4			
	Check valve	4			

ヨルダン国大型取水・導水・送水ポンプの摩耗と腐食の検討

検 討 書

2019 年 8 月 30 日

公益社団法人 腐食防食学会

ヨルダン国大型取水・導水・送水ポンプの摩耗と腐食の検討

1. はじめに

(株)TEC インターナショナル殿より、本会腐食センターへ、標記ポンプの摩耗と腐食の原因究明と対策について検討を要請された。(株)TEC インターナショナル殿から提供された資料（巻末にリストを掲載）に基づき検討した結果を、以下に報告する。

2. システムの概要

ザイ給水システムは1985年にUSAIDにより構築され、1997年と2001年我が国による無償資金協力支援、2002年にKFWによる支援が行われたが、施設がすでに老朽化し、今後のさらなる機能低下や機能停止による給水量及び水質の低下を未然に防ぐための機材更新が急務となっている。また高低差約1,260 mを揚水するため大量の電力を必要とし、ポンプ類のエネルギー効率化、システム・設備・機材の更新による運転効率の改善や運転費用の削減が必要となっている。

キングアブドラキャナルから取水ポンプ場（φ600 縦軸ポンプ 4 台）によって原水が取水され、冬場は沈砂池を経由し夏場は経由せず PS1（φ450 横軸ポンプ 4 台）に導水される。そして、PS2、PS3、PS4 の各導水ポンプ場で増圧されてザイ浄水場に導水される。浄水場（25 万トン/日）で生成された処理水が PS5（φ450 横軸ポンプ 4 台）によってアンマン市近くのダブーク貯水池まで送水され、そこから自然流下によって市内に配水されている。

3. 事象の概要

導水ポンプは日本の無償援助で 1997 年と 2001 年に納入した際、1985 年に設置されたオリジナルのポンプがシルトによる摩耗の影響があったとの事で、耐エロージョン性を考慮して、回転系部品が 13Cr マルテンサイト系ステンレス鋼（以下、13Cr ステンレス鋼と呼ぶ）に変更された。しかし、20 年近く経過した現在、導水ポンプには、下記のような事象が発生し、効率低下などの問題が起こっているとの報告があった。また、取水ポンプ羽根車にも同様の損傷が生じているとの報告があった。

- (1) ケーシング舌部、インペラ、シャフト、スリーブ、インペラリング、ケーシング&インペラリングなどの摩耗

- (2) インペラ、スリーブなどに見られる腐食
- (3) ケーシング内面の腐食

4. 各事象の発生原因についての考察

4.1 エロージョンまたはエロージョン・コロージョン

以下の説明を行うに当たって、まず、用語を整理しておく。

エロージョンを引き起こす要因の一つは、水の中に含まれる固体粒子である。固体粒子は、粒形の大きいものから、砂、シルト、粘土と呼ばれることがあるが、ASTM G40（摩耗、エロージョンに関する用語）には、シルト（silt）は存在せず、スラリー（slurry）のみが定義されている。slurry は、suspension of solid material in liquid となっている。従って、正式には「固体粒子＋液体」をスラリーと呼ぶべきであろう。今回環境中に含まれる固体は、シルトと報告されているが、ASTM に倣って、本報告書では固体粒子を含む液体をスラリーと呼ぶ。スラリーによるエロージョンをスラリー・エロージョンと呼ぶ。エロージョンを引き起こすもう一つの因子はキャビテーションであり、水中の気泡がつぶれる時に発生する衝撃波が原因となって、キャビテーション・エロージョンが引き起こされる。

次に、「エロージョン」と「エロージョン・コロージョン」の違いについて述べる。図 1¹⁾ は、中性水溶液中における各種材料の腐食速度の流速依存性を模式的に示したものである。

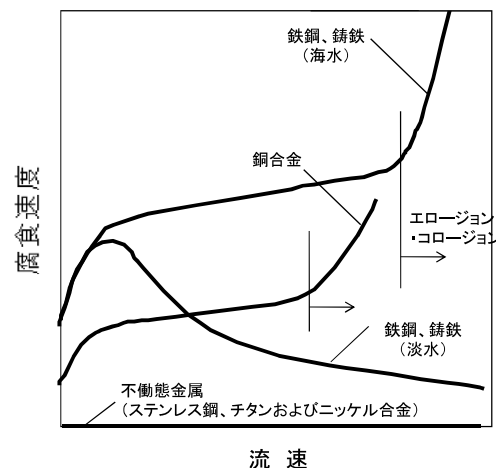


図 1 腐食の流速依存性を示す模式図¹⁾

鋳鉄・鋳鋼および銅合金は、一定の流速以上では、流体のせん断力で保護的な腐食生成物が剥離し腐食が助長される「エロージョン・コロージョン」という現象が起こり、激しい損傷を招くことがある。一方、ステンレス鋼、チタンなど不働態金属は、中性水溶液中ではエロージョン・コロージョンを起こさず、高い流速にも耐える（エロージョンは別）。エロージョン・コロージョンは、流体の機械的作用だけでなく、スラリーが腐食生成物の剥離に関与する場合もある。一方、「エロージョン」はスラリーに含まれる固体粒子が直接金属を研削摩耗させる、あるいはキャビテーション現象が引き起こす機械的損耗現象である。この報告書では、スラリーの機械的作用で起こる「エロージョン」と、流体あるいはスラリーが錆を剥離させることによって加速される腐食現象「エロージョン・コロージョン」を区別して使うので留意されたい。

図1ではエロージョン・コロージョンの挙動を定性的に示したが、ここで定量的な補足を加える。海水のような塩化物イオン濃度が高い腐食性環境では、エロージョン・コロージョンに移行する限界流速は、流れの状態にもより一概に言えないが、鋳鉄の場合 20 m/s 前後という報告がある²⁾。銅合金は鉄系材料よりも低い流速でエロージョン・コロージョンが起こる。市川らの実験によると³⁾、青銅（CAC406：旧表示 BC6）では、約 15 m/s で腐食が急上昇する。一方、ステンレス鋼、Ni 合金、チタンなどの不働態金属は高流速にも耐え、中性水溶液中では、エロージョン・コロージョンという腐食現象を起こさない。もしスラリーによって不働態皮膜が破壊された場合でも、中性水溶液中では不働態皮膜は直ぐに補修されるので、スラリーによる腐食の加速現象は起きないからである。繰り返し不働態皮膜が削られていくとしたら、それは、エロージョン・コロージョンではなく、エロージョンである。また、ステンレス鋼の不働態皮膜はオングストロームオーダーの極めて薄い皮膜であるので、皮膜だけが剥離し母材が残るということも無く、この意味でも、エロージョン・コロージョンではなく、エロージョンである。INCO International の海水環境でのデータ⁴⁾によると、今回の導水ポンプインペラリングの周速約 23 m/s では、ステンレス鋼の腐食速度は“Nil”と表示されている。

提供された写真によると、導水ポンプの鋳鋼製ケーシング舌部および取水ポンプの青銅製羽根車ベーン端部には、エロージョンまたはエロージョン・コロージョンによると思われる激しい損耗が見られ、ケーシング舌部および羽根車ベーン端部が大きく後退している。

一方、13Cr ステンレス鋼製羽根車では、深い孔食が随所に見られるものの、エロージョンで損傷を受けやすい羽根車ベーン先端部でも、エロージョンによると思われる典型的な（流れ方向に彫刻刀で彫ったような）損傷形態は認められなかった。羽根車の出口側ベーン表面に損傷が見られるが、スラリーによるエロージョンとは形態が異なり、腐食のように見受けられる。また、羽根車吸い込み側ベーン表面に数個の円形状の凹みが見られるが、これも、スラリーによるエロージョンとは形態が異なるように思えるが、特異的な形態であり、現時点では原因が断定できない。

また、13Cr ステンレス鋼製ケーシングリングでも、局部腐食は見られるものの、ここでも、上述のような明確なエロージョンによると思われる損傷形態は確認できなかった。13Cr ステンレス鋼は、鋳鋼（ケーシング舌部）および青銅（羽根車ベーン先端）と比べて、エロージョンに対する抵抗性が高いことが示されている。13Cr ステンレス鋼製のインペラリングとケーシングリングのすきまが 6 mm にも拡大したとの報告があるが、その損傷状況は提供された資料からは確認できなかった。

ケーシングの損耗状況が、浄水（浄水場で綺麗にした水）を送る送水ポンプでは軽度との報告があるので、鋳鋼や青銅の損傷には、スラリーが何らかの影響を与えている可能性が高い（エロージョンかエロージョン・コロージョンか断定できないが）。

沈砂池での分析結果が報告されているが、5 月の一時期を除けば、固体粒子の濃度は 100 mg/L 以下であり、エロージョンの観点からは、それ程高い値とは言いきれないが、流速が高い条件では、また、材料によっては、エロージョンによる損傷を受ける場合があると考ええる。青銅製羽根車の損傷は、腐食が直接関与しないエロージョンによる可能性も高い。

エロージョンの速度には、材料の硬さ、固体粒子の径、衝突角度、衝突速度、濃度など多くの因子が影響を及ぼす。杉山らは、次式を提案し、実験によって、 $m=-3.2$ 、 $n=3.5$ 、 $o=0.8$ 、 $p=1.3$ を求めている⁶⁾。また、固体粒子の性状（形状や硬度）もエロージョン速度に影響を及ぼす。

$$\text{エロージョン量（体積減少速度）} = HV^m \times v^n \times c^o \times d^p$$

HV ： 材料の硬さ

v ： 流速

c ： 固体粒子濃度

d ： 平均固体粒子径

因子の中では、特に材料の硬さおよび流速の影響が大きい。エロージョン発生の可能性は、硬さが低いほうから、青銅、鋳鋼、13Cr ステンレス鋼の順になる。また、硬さの高い 13Cr ステンレス鋼でも、流速の大きいライナリング／ケーシングリングのすきまでは、エロージョン発生の可能性が高まる。因子の中には固体粒子の平均粒径もあり、その値が小さくなるほど、エロージョン量は低下する。今回のケースでは、固体粒子の粒形分布のピークは 10 μm 前後、高い場合には 20～30 μm の位置にある。この粒径に近い固体粒子を含むスラリーのエロージョンについて調べた報告例がある⁵⁾。このケースは、平均粒子径が 30 μm であるが、固体粒子の濃度が高い場合、激しいエロージョンを引き起こしており、今回の“シルト”が、粒子径が比較的小さいとは言っても、濃度が高くなれば安心はできない。

スラリーが関与したエロージョン現象が大きく疑われるものの、実際にポンプに送られる水に固体粒子がどの程度含まれているか、その固体粒子の性状（成分、形など）はどうかなど、詳しい調査が望まれる。そして、可能であれば、その条件で、あるいは模擬実験を行い、材料のエロージョン現象を定量的に把握することが必要と考える。

4.2 ステンレス鋼の局部腐食（孔食およびすきま腐食）

インペラ、スリーブなど、13Cr ステンレス鋼部品の表面で、随所に深い孔食が発生している。また、ケーシングリングの片面にはすきま腐食が発生しているとの報告もある。

13Cr ステンレス鋼は、強度および硬度は高いが、ステンレス鋼の中では相対的に耐食性が低く、塩化物イオンを含む環境中では孔食やすきま腐食など局部腐食を起こしやすい。しかし、日本の水道水レベルの、塩化物イオン濃度が低い淡水中では、腐食を起こす事例は少ない。

ステンレス鋼の孔食およびすきま腐食は、塩化物イオン濃度が高いほど、温度が高いほど、また、環境の酸化性（ステンレス鋼の自然電位が指標となる）が高いほど発生しやすい。孔食およびすきま腐食発生の臨界条件として、孔食電位 V'_c (JIS 0577) および腐食すきま再不動態化電位 $E_{R,CREV}$ (JIS 0592) が採用されており、自然電位 E_{SP} がこれらの臨界条件を越すと腐食が発生する。この関係を図 2 に模式的に示す。図でわかるように、 V'_c および $E_{R,CREV}$ は、塩化物イオン濃度が高いほど低くなる。この図は、一定の温度条件で測定された V'_c および $E_{R,CREV}$ を示すものであるが、温度が上がれば、これらの値はもっと低くなって、腐食が発生し易くなる。ちなみに、 V'_c は $E_{R,CREV}$ よ

りも常に電位が高い側にある（つまり、常に、すきま腐食のほうが優先して発生する）。

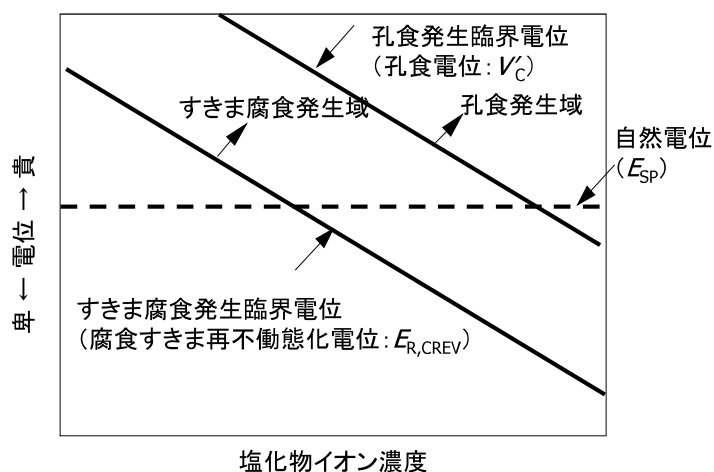


図2 すきま腐食および孔食の発生条件を示す模式図

13Cr ステンレス鋼の局部腐食発生可能性について考察した具体的事例で説明する。図 3⁷⁾ は 30℃で測定したデータである。

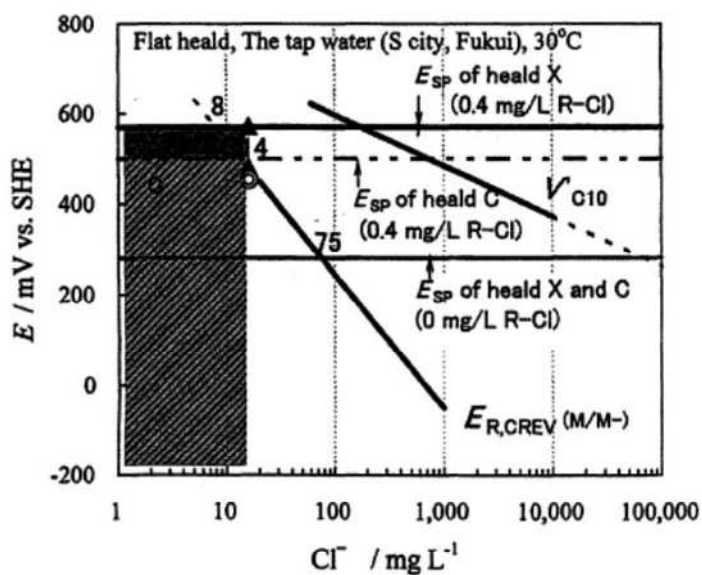


図3 13Cr ステンレス鋼のすきま腐食・孔食発生可能性の検討⁷⁾

溶存酸素を含む環境中では自然電位 (E_{SP}) が約 280 mV vs. SHE（以下、全て電位は vs. SHE で示す）であったので、この場合、塩化物イオン濃度が 75

mg/L 以下だとすきま腐食も孔食も発生しない。しかし、塩素殺菌を行って残留塩素濃度が 0.4 mg/L になると、自然電位が 0.5 V または 0.6 V 近くにまで押し上げられ(材料のロットによって差があるが)、塩化物イオン濃度が 10 mg/L 前後でも腐食を起こすようになる。また、自然電位が約 0.6 V になれば、塩化物イオン濃度が 100 mg/L 程度で、孔食も発生するようになる。

当導水ポンプでは、元々、塩化物イオン濃度が、200 mg/L 前後と高い値になっている。また、二酸化塩素および過マンガン酸カリウムを注入しているという報告がある。二酸化塩素と過マンガン酸カリウムを水に注入した時の反応と酸化還元電位を以下に示す。また、溶存酸素の還元についても同表に示す。

表 1 各種反応における酸化還元電位

反応式	酸化還元電位 (vs. SHE)
$\text{ClO}_2 + \text{e}^- = \text{ClO}_2^-$	+0.954
$\text{ClO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = \text{ClO}^- + 2\text{OH}^-$	+0.66
$\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = \text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$	+0.81
$\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e}^- = \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+1.68
$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^- = \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1.51
$\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{e}^- = \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$	+0.60
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$	+0.401

これを見ると、二酸化塩素および過マンガン酸カリウムのいずれを注入した場合でも、そこで起こる反応の酸化還元電位は溶存酸素のそれよりも高く、こうした環境中に置かれたステンレス鋼の自然電位が大きく引き上げられることは間違いない。当導水ポンプでは、元々、日本の水道水と比べて塩化物イオン濃度が高く (200 mg/L 前後)、二酸化塩素および過マンガン酸カリウムの注入によって電位が上昇すれば、すきま腐食はもちろん、孔食の発生臨界電位をも超えて、孔食も発生するようになる。また、二酸化塩素および過マンガン酸カリウムの注入は、ステンレス鋼の電位を上げるだけでなく、これらの還元反応(カソード反応)が溶存酸素の還元反応に重畳して、腐食の成長速度を加速する。更に、二酸化塩素が還元されれば、塩化物イオン濃度が増加し、環境条件が更に悪化する。インペラ、スリーブ、ケーシングリングなど、13Cr ステンレス鋼部品が激しい局部腐食を被ったのは、二酸化塩素

および過マンガン酸カリウムの添加が大きな影響を与えているものと考え
る。

ステンレス鋼に局部腐食を発生させる条件を定量的に把握するためには、
文献7で行っているようなアプローチが必要である。まずは、二酸化塩素お
よび過マンガン酸カリウムの添加条件（添加量、添加の位置・方法など）を
知ることが必要だが、その添加条件で、ステンレス鋼の電位がどれほど上昇
するのか、また、カソード反応がどれほど加速されるのかなど、実験が必要
となる。

4.3 ケーシングに見られる腐食

鋳鋼製ケーシング内面の腐食が進んでいるとの報告があるが、定量的には
把握できていないので、一般的に考察する。図4⁸⁾に、鋳鉄および軟鋼の腐食
に及ぼす塩化物イオン濃度と流速の関係を示す。塩化物イオン濃度が高い条
件では、腐食速度は流速と共に上昇する。海水では典型的にこのような流速
依存性が見られる。これは流速の上昇と共に、金属表面への溶存酸素の供給
が活発になるためである。一方、塩化物イオン濃度が低くなると、流速の上
昇と共に一旦腐食速度は増加するが、更に流速が高くなると、却って腐食速
度が低下する。これは、塩化物イオン濃度が低い環境では、流速の上昇によ
る酸素の供給が逆に保護的な皮膜の形成を促すものと考えられる。塩化物イ
オン濃度が低い淡水を扱うポンプで、鋳鋼あるいは鋳鉄製ケーシングが耐久
性を持つのはこの理由からである。しかし、本環境では、塩化物イオン濃度
が比較的高いこと、二酸化塩素および過マンガン酸カリウムの添加による酸
化性の増加、スラリーによる錆の摩耗・剥離などが複合的に作用し（図1も
参照）、腐食が進行した可能性が考えられる。

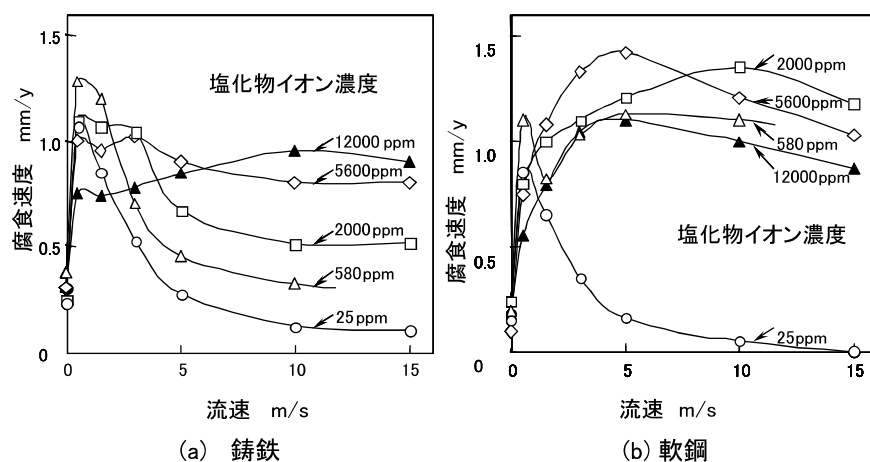


図4 鋳鉄および軟鋼の腐食に及ぼす塩化物イオン濃度および流速の影響⁸⁾

5. まとめと対策に関する検討結果

日本の水道水などのように塩化物イオン濃度が低い淡水環境であれば、鋳鋼系ケーシングと 13Cr ステンレス鋼製あるいは青銅製羽根車で十分な耐食性が得られ、実績も多いが、今回、このような損傷を招いた主な要因と結果としては下記が考えられる。

- ① スラリーの影響（直接的に金属を摩耗させるエロージョンか、錆の摩耗によって腐食を助長させるエロージョン・コロージョンか、断定できないが）
 - 鋳鋼製ケーシング舌部および青銅製羽根車ベーン端部の損傷
- ② 二酸化塩素および過マンガン酸カリウムの添加の影響
 - 13Cr ステンレス鋼部品の局部腐食、鋳鋼製部品の腐食、
 - 鋳鋼製ケーシング舌部の損傷（加速要因）

① については、鋳鋼および青銅は、スラリーの影響を受けている可能性がある。沈砂池を改良してポンプに導入される水の固体粒子濃度を下げるのが根本的対策である。それでも、スラリーの影響を阻止できないのであれば、材料の変更が必要である。スラリーの影響に関して言えば、耐エロージョンあるいは耐エロージョン・コロージョン性の高い 13Cr ステンレス鋼への変更は、効果があつたと見るべきであろう（局部腐食については別で、②で述べる）。13Cr ステンレス鋼製ケーシングリングおよびライナリングでは損傷が大きいとの報告があるが、ここは、前後の流体の差圧によって流速が特に高くなる箇所でエロージョン損傷を受けやすく、また、性能を維持するため重要な個所でもあるので、定期的更新などの対策が必要である。

② については、二酸化塩素および過マンガン酸カリウムの添加が影響を与えている可能性がある。高い塩化物イオン濃度も含めて、このまま環境が変わらないのであれば、13Cr ステンレス鋼の局部腐食や鋳鋼および青銅の腐食およびエロージョン・コロージョンが改善されない。今後、定期的な点検と部品交換による対応も重要であるが、材料のグレードアップも候補となる。塩化物イオンを含む中性水溶液環境で、孔食およびすきま腐食への抵抗性をはかる指標として、PREN : Pitting Resistance Equivalent Number (PREN) という指標がある。

$$\text{PREN} = \text{Cr} + 3.3(\text{Mo} + 0.5\text{W}) + 16\text{N}$$

PREN は、右辺の各元素記号の項に、それぞれの元素の重量%の値を代入して求められる。PREN が高く（耐局部腐食性が高く）、強度も高く、比較的成本も抑えられる二相ステンレス鋼が一つの候補と考えられる。現在、海水ポンプでは、PREN が 35 レベルのものと PREN が 40 以上のものが汎用されているが、当条件では、PREN が 25 レベルのものでも使用可能かもしれない。詳しくは、ポンプメーカーおよび材料メーカーと協議していただきたい。

文献

- 1) 宮坂松甫, *Zairyo-to-Kankyo*, 47, 164 (1998).
- 2) 木下和夫, 市川克弘, 小林荘樹, 北嶋宣光, エバラ時報, No.89, (1974).
- 3) 市川克弘, 永野和夫, 小林荘樹, 北嶋宣光, エバラ時報, No.86, (1973).
- 4) 宮坂松甫, エバラ時報, No. 221, 図 5 (2008), 原典 : A. H. Tuthil, C. M. Schilmoller: *Guidelines for Selection of Marine Materials*, INCO International.
- 5) 杉山憲一, 川村 聡, 長坂浩志, 小川俊之, 成田貴行, 浅野保夫, エバラ時報, No.211 (2006).
- 6) 杉山憲一, 中野恵介, 服部修次, ターボ機械, 34, 6, (2003) , 349
- 7) 中津美智代, 高島正之, 辻川茂男, 材料と環境, 55, 495 (2006).
- 8) 木下和夫, 市川克弘, 北嶋宣光, 防食技術, 32, 31 (1983).

(株)TEC インターナショナルから提供された資料・学術論文

No.	資料・写真等
1	ヨルダン/ザイ給水システム向け取水・導水・送水ポンプの腐食検討依頼 2019 年 7 月 31 日 (株)TEC インターナショナル
2	ザイ給水システムにおける原水質の所感 2019/08/01 ザイ給水システム調査団
3	SCOPE OF WORK FOR JAPANESE GRANT AID AND KFW PROJECT
4	DOUBLE SUCTION VOLUME PUMP SECTIONAL DRAWING DWG. No. PJ99H008302/911
5	DOUBLE SUCTION VOLUME PUMP SECTIONAL DRAWING DWG. No. PJ01H062203/911
6	Average Of Chemical Tests Results For Zai W.T.P (Effluent , Inlet) And Main KAC Locations New (Deir Alla ,Inlet,Effluent) 2012～2016
7	SECTIONAL DRAWING DWG. No. PJ01H062202/911
8	(ヨルダン /ザイ給水システム ザイ給水システム 導水ポンプの損傷状況) (No.1)
9	ヨルダン /ザイ給水システム ザイ給水システム 導水ポンプの損傷状況 (No.2) 2019 年 7 月 13 日撮影
10	沈砂池の SS 除去効果の分析結果(追加)
11	各部位の写真(6 枚)
13	依頼品の試験内容と結果 試験部品名: 上水道用原水送水ポンプ部品
12	ケーシングリングの取り付け状況
14	PS4 の 3 号機 ケーシングリング: ステンレス鑄鋼 (JIS SCS1)
	学術資料・論文
15	H. N. Patel, S. K. Singal, R. P. Saini, ” A New Approach for the Study of Silt Erosion of Hydro Turbine”, <i>International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering</i> , Volume 3, Issue 5, May 2013
16	CHANDAPPA M. ALLOLLI, ”EFFECT OF SILT FACTOR AND RETROGRESSION ON DESIGN OF BARRAGE”, A DISSERTATION Submitted in Partial fulfilment of the requirements for the award of the degree of MASTER OF TECHNOLOGY in WATER RESOURCES DEVELOPMENT
17	Saurabh Sangal, M. K. Singhal & R. P. Saini, ” Hydro-abrasive erosion in hydro turbines: a review”, <i>International Journal of Green Energy</i> , Volume 15, 2018 - Issue 4
18	Randall S. Lynn, Kien K. Wong and Hector Mcl. Clark, ” On the particle size effect in slurry erosion”, <i>Wear</i> , 149(1991) 55-71
19	Hari Prasad Neopane, Ole Gunnar Dahlhaug , Michel Cervantes, ” Sediment Erosion in Hydraulic Turbines”, <i>Global Journal of researches in engineering Mechanical and mechanics engineering</i> , Volume 11 Issue Version 1.0 November 2011
20	J.H. Masoodi and G.A. Harmain, ” Sediment erosion of Francis turbine runners in the Himalayan region of India”, <i>Hydropower & dams</i> , Vol. 24 - Issue 1, 2017

吐出ヘッダー管の調査結果報告

2019 年 8 月 7 日
ザイ 給水調査団

ザイ給水システムの各ポンプ所（PS1-5）における既設配管は 1985 年の納入より更新されておらず、肉厚の減少や漏水等の劣化が懸念される。本調査では吐出ヘッダー管の仕様や劣化状況を現場調査により確認し、必要な措置を提案する。

1. 調査内容

調査内容（調査項目、使用計器及び測定場所）を以下に示す。

(1)仕様調査

吐出ヘッダー管の仕様を納入時の書類等により調査する。

(2)外観調査

吐出ヘッダー管の劣化状況を聴き取りや目視により行う。

(3)計測調査（管厚測定調査）

鋼管の管厚を下記の超音波厚さ計を用いて測定する。管厚の測定地点を図 1～2 に示す。また、測定位置を図 3 に示す。

表 1 超音波厚さ計

メーカー	GE インспекションテクノロジー
製品名	DM4

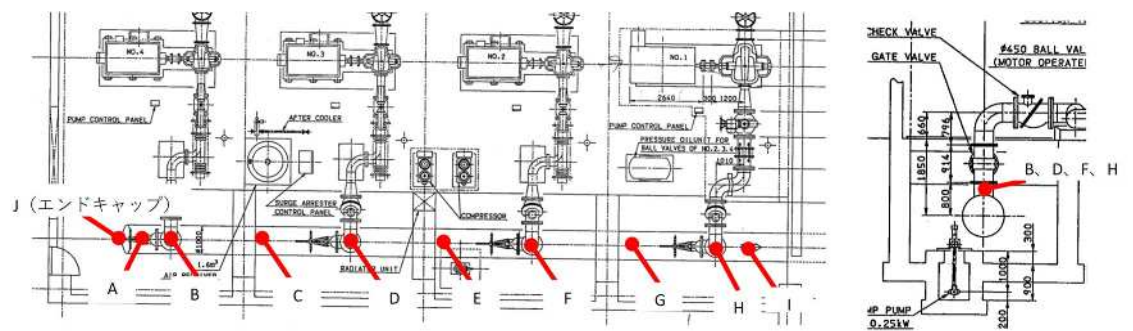


図 1 PS1 管厚測定地点

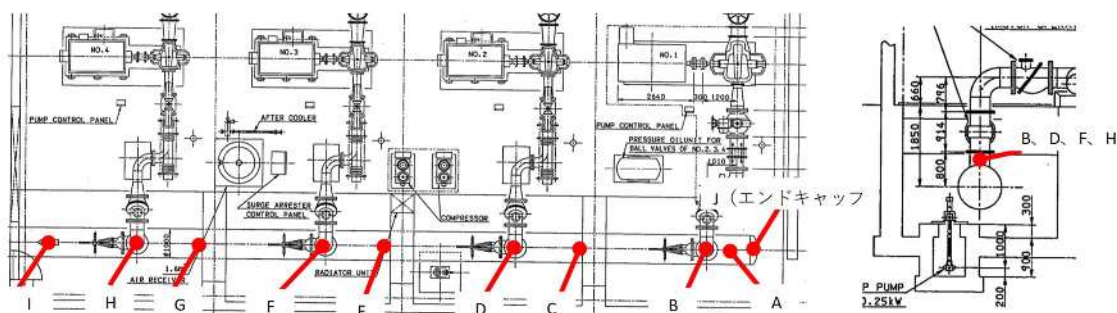
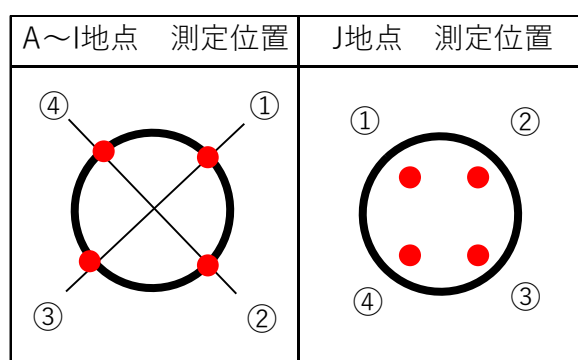


図 2 PS2-5 管厚測定地点



※下流に向かって①～④を配置している。

図 3 各地点の測定位置図

2. 調査結果

3.1 仕様調査

Miyahuna からの聴き取りにより吐出ヘッダー管の納入図面などの書類が残っていないことが判明した。当時の入札仕様書を調査すると以下の仕様と推定できた。

- 規格：API spec 5LX grade X52
- 圧力基準：Pressure Class 3
- 口径：1,200 mm
- 肉厚：14.45 mm

しかし、吐出ヘッダー管は口径 1,000mm の配管が採用されている。入札仕様書の記載では取水ポンプから配水池までの配管は上記仕様となっていた。どのような経緯で口径 1,000mm となったかは資料が残っていないため把握できなかった。

3.2 外観調査

Miyahuna からの聞き取り調査によると、停電によるポンプ停止に起因するウォーターハンマーにより PS2、PS4、PS5 のエンドキャップ部が同時に破損する事故があったことが判明した。修理の際、エンドキャップ部は PS1-5 において強固に補強していることを確認した。

また、上記以外の漏水事故は起こっていないことが把握できた。取水ポンプ所（IPS）の吐出ヘッダー管についてはこれまで漏水等の破損は一度も起こっていないことも把握できた。したがって、IPS の吐出ヘッダー管は埋設管であり調査が困難であるため、管厚測定調査の対象外とした。

目視調査により、図 4 のように一部塗装が劣化している箇所があり、外面の腐食がみられたが、漏水やその他機能的に問題となるような損傷はみられなかった。エンドキャップ部は聴き取りのとおり、図 5 のような補強がされていた。ただし、これは応急措置のため新規更新の必要があると考えられる。



図 4 塗装劣化状況、腐食状況



図 5 エンドキャップ部現況

3.3 計測調査結果

（１）管厚測定結果

管厚測定結果を表 2 に示す。すべての測定地点において、腐食等による減肉はみられなかった。ただし、一部の測定位置において、錆の影響で周囲より大きな値を示している。本吐出ヘッダー管の仕様は第 3.1 項で述べたとおり不明だが、ポンプ所間の導水配管と圧力基準は同等であるべきと考えられる。API 規格における口径 1,000 mm での同等の圧力基準に対する管厚は 9.52mm であるため、一部測定点において肉厚の不足がみられる。

表 2 管厚測定結果

	測定地点	①	②	③	④	max	min.	ave.
PS1	A	19.91	17.19	15.62	16.95	19.91	15.62	17.42
	B	25.87	-	24.18	25.59	25.87	24.18	25.21
	C	11.29	11.33	24.23	17.72	24.23	11.29	16.14
	D	13.62	15.37	26.82	14.69	26.82	13.62	17.63
	E	8.75	9.35	10.92	10.87	10.92	8.75	9.97
	F	12.30	15.08	14.36	14.43	15.08	12.30	14.04
	G	11.49	11.26	11.29	11.37	11.49	11.26	11.35
	H	14.30	15.54	13.91	14.53	15.54	13.91	14.57
	I	11.61	11.16	11.10	11.30	11.61	11.10	11.29
	J	25.06	-	-	24.74	25.06	24.74	24.90
PS2	A	18.65	17.20	19.72	18.87	19.72	17.20	18.61
	B	13.40	14.29	12.46	13.89	14.29	12.46	13.51
	C	11.16	11.20	11.17	11.10	11.20	11.10	11.16
	D	12.83	13.25	12.33	14.26	14.26	12.33	13.17
	E	8.76	8.38	9.92	8.84	9.92	8.38	8.98
	F	13.17	13.79	12.27	11.38	13.79	11.38	12.65
	G	9.72	9.67	9.67	9.67	9.72	9.67	9.68
	H	11.24	10.93	15.36	12.61	15.36	10.93	12.54
	I	9.96	9.97	9.86	9.85	9.97	9.85	9.91
	J	25.23	24.91	24.46	25.10	25.23	24.46	24.93
PS3	A	19.86	18.20	19.72	17.92	19.86	17.92	18.93
	B	15.96	15.31	15.69	16.86	16.86	15.31	15.96
	C	11.49	11.35	11.23	11.31	11.49	11.23	11.35
	D	14.67	12.36	13.17	16.89	16.89	12.36	14.27
	E	8.78	10.25	9.41	9.22	10.25	8.78	9.42
	F	14.33	15.70	15.11	14.55	15.70	14.33	14.92
	G	13.00	11.58	11.11	11.26	13.00	11.11	11.74
	H	14.77	11.68	12.31	12.50	14.77	11.68	12.82
	I	10.89	11.18	11.36	11.19	11.36	10.89	11.16
	J	25.90	25.90	25.85	26.10	26.10	25.85	25.94
PS4	A	19.60	17.40	17.70	19.30	19.60	17.40	18.50
	B	13.90	14.20	13.80	14.20	14.20	13.80	14.03
	C	11.50	11.40	11.50	11.50	11.50	11.40	11.48
	D	13.40	13.60	13.50	12.40	13.60	12.40	13.23
	E	23.10	22.90	22.00	22.80	23.10	22.00	22.70
	F	25.60	25.60	24.80	22.90	25.60	22.90	24.73
	G	23.70	23.90	24.60	24.20	24.60	23.70	24.10
	H	27.00	26.50	26.40	25.40	27.00	25.40	26.33
	I	24.60	24.00	24.20	24.10	24.60	24.00	24.23
	J	25.80	26.10	25.70	25.80	26.10	25.70	25.85
PS5	A	19.17	17.71	18.30	19.10	19.17	17.71	18.57
	B	13.06	14.59	13.92	13.42	14.59	13.06	13.75
	C	10.88	10.99	10.85	11.03	11.03	10.85	10.94
	D	11.30	12.35	12.51	14.80	14.80	11.30	12.87
	E	10.71	11.26	10.47	10.24	11.26	10.24	10.67
	F	14.61	14.28	11.83	14.66	14.66	11.83	13.85
	G	11.07	11.27	11.06	11.14	11.27	11.06	11.14
	H	13.72	12.85	13.71	15.65	15.65	12.85	13.98
	I	11.09	10.95	10.99	10.99	11.09	10.95	11.01
	J	24.85	24.58	24.78	24.92	24.92	24.58	24.78

(2) 必要管厚の分析

ヘッダー管にかかる水圧は 3MPa と高圧であることから、圧力容器の構造規格 (JIS B 8226) に分類し必要な管厚を計算する。内圧を受ける円筒胴の肉厚は以下の式により求められる。

$$t = \frac{PD_i}{(2\sigma_a\eta - 2.1P)}$$

t : 板厚 [mm]

P : 内圧 [MPa]

D_i : 内径 [mm]

σ_a : 許容引張応力 [MPa]

η : 溶接継手効率

(JIS B 8265 附属書 E 2017)

上記により管厚を計算すると、必要管厚は 7.62mm である。表 2 より、最小管厚は 8.38mm である。これは必要管厚より厚く、ザイ給水システムの必要耐圧に耐えられる配管であることが分かる。

3. 総合評価

吐出ヘッダー管の詳細な仕様は把握できなかった。管厚測定調査より導水配管と同等の圧力基準における肉厚と比較すると一部不足していることが分かった。しかし、必要耐圧に耐えられる肉厚を有しており、吐出ヘッダー管全体の更新は不要と考えられる。ただし、PS1-5 のエンドキャップ部は破損事故復旧の応急措置であるため、再度ウォーターハンマーが発生した際は破損、長期間の断水につながる懸念がある。

したがって、本調査結果より、エンドキャップ部の新規更新を推奨する。

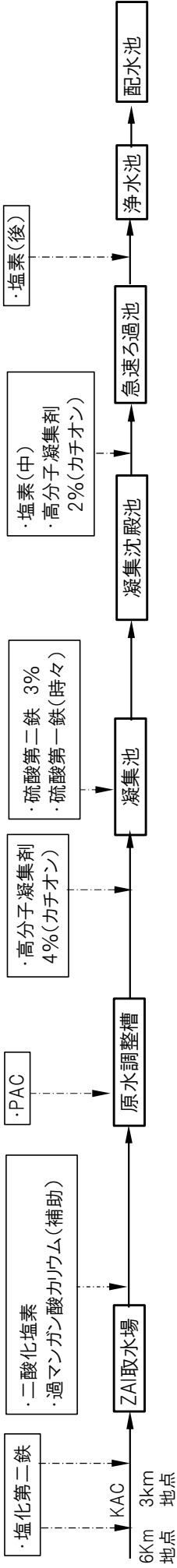
薬注設備概要
処理水量

全体	250,000	m3/日 =	10416.7	m3/時
1系	125,000	m3/日 =	5208.3	m3/時
2系	125,000	m3/日 =	5208.3	m3/時

使用薬品

注入場所	薬品名	主目的	事
KAC	塩化第二鉄	凝集剤	KACからの流入濁度(200NTU)を超えた場合注入し、取水点で100NTU以下に下げる。 取水場から上流6km、及び3km地点に設置され、滴定にて注入される。
Deir Allah	二酸化塩素	酸化剤、消毒剤	・原料:亜塩素酸ソーダ+塩素ガス ・特徴:トリハロメタンを生成しない。 消毒副生成物で塩素酸イオン・亜塩素酸イオンに注意が必要:ヨルダン浄水基準値 0.7mg/L以下
	過マンガン酸カリウム	酸化剤	二酸化塩素の補完(二酸化塩素の過大注入を避ける、及び二酸化発生器の予備) 右記条件で注入→夏期:藻類が2000個/L以上、冬期:線虫数が多い(10~20個/L)時
	PAC	吸着剤	異臭味物質、亜塩素酸イオン、他の吸着
ZAI WTP	硫酸第一鉄	凝集剤	凝集剤、亜塩素酸イオンの還元 (亜塩素酸濃度>1.3mg/L時 注入)
	硫酸第二鉄	凝集剤	凝集剤
	高分子凝集剤(カチオン)	凝集補助剤	凝集補助剤、ろ過助剤
	塩素	消毒剤	消毒

薬品注入フロー



薬品注入率

薬品名	注入率(mg/l)	事
塩化第二鉄	滴定	液体
二酸化塩素	1~3.0	塩素ガスと亜塩素酸ナトリウム25%溶液を混合反応させ生成する。
過マンガン酸カリウム	1.5~3.0	フレーク状薬品を自動計量供給し、希釈溶解する。
PAC(粉末ドライ活性炭)	5~35	粉末を自動計量し供給し、水溶液とする。
3%硫酸第一鉄	1~10	フレークを自動計量希釈し、溶液とする。
3%硫酸第二鉄	10~50	フレークを自動計量希釈し、溶液とする。
4%高分子凝集剤(カチオン)	0.5~5.0	原液を希釈し、溶液とする
2%高分子凝集剤(カチオン)	0.2~0.3	原液を希釈し、溶液とする
塩素(中塩素)	0.5~2.5	塩素ガスを計量溶解する。
塩素(後塩素)	0.1~1.0	塩素ガスを計量溶解する。

薬品単価

薬品名	JD/Ton	梱包荷姿
塩化第二鉄(液体)	184	1m3 ICBコンテナ
塩素(ガス)	859	1トンボンベ
亜塩素酸ナトリウム(80%粉末)	2,374	50kg缶
過マンガン酸カリウム(フレーク)	2,890	25kg缶
硫酸第二鉄(フレーク)	364	40kgクラフトバッグ
硫酸第一鉄	519	40kgクラフトバッグ
カチオンポリマー(液体)	1,337	1m3 ICBコンテナ
PAC(粉末ドライ活性炭)	948	1m3 フレコンバッグ

参考 :31.5%液体 2,500 JD/Ton (1m3ICBコンテナ)

薬品消費量

2017年		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合 計	
月別水量(m3)		4,622,450	4,256,860	4,946,680	5,488,340	6,510,040	6,666,400	7,454,210	7,585,380	7,229,210	6,782,960	5,937,040	5,717,600	53,197,170	
定格水量に対する割合		0.596	0.608	0.638	0.732	0.840	0.889	0.962	0.979	0.964	0.875	0.792	0.738	0.583	
薬 品 名		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計(Ton)	金 額(JOD)
PAC		79.75	63.80	81.40	91.30	118.80	122.65	138.60	180.40	137.50	120.58	94.32	92.00	1,321.10	1,252,404
塩素(ZAI)		17.60	12.80	12.80	16.00	20.00	17.60	17.60	21.60	18.40	21.60	19.20	13.60	208.80	179,359
ポリマ		8.80	8.80	12.10	12.10	12.10	16.50	14.30	13.20	14.30	14.30	12.10	12.10	150.70	201,486
硫酸第二鉄		132.00	126.80	165.60	175.20	192.00	188.40	153.60	155.56	176.40	154.80	152.40	154.80	1,927.56	701,632
硫酸第一鉄		0.00	0.00	0.00	11.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	3.95	16.15	8,382
塩化第に鉄		0.80	2.70	0.00	0.00	0.00	20.00	8.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	34.50	6,348
塩素(取水場)		7.08	7.08	6.40	8.00	8.81	8.00	8.00	9.35	8.69	7.86	7.83	7.87	94.97	81,579
亜塩素酸ナトリウム		12.45	13.00	12.00	12.00	18.30	15.20	16.55	18.85	16.60	15.00	13.60	12.60	176.15	418,180
過マンガン酸カリウム		0.10	0.08	0.00	0.95	0.00	0.00	2.28	0.98	0.03	2.68	0.05	8.86	16.01	46,269

2018年		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計	
月別水量(m3)		5,231,170	5,062,610	5,715,000	4,631,210	6,688,800	6,714,660	7,143,200	7,450,200	6,592,960	6,702,960	6,171,910	6,096,700	53,197,170	
定格水量に対する割合		0.675	0.723	0.737	0.617	0.863	0.895	0.922	0.961	0.879	0.865	0.823	0.787	0.583	
薬 品 名		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計(Ton)	金 額(JOD)
PAC		94.20	116.60	105.60	80.85	114.95	86.35	139.10	169.10	127.05	107.80	110.65	114.95	1,367.20	1,296,106
塩素(ZAI)		13.60	13.60	22.40	21.60	24.80	20.00	22.40	27.20	22.40	21.60	20.00	20.00	249.60	214,406
ポリマ		19.80	19.80	17.60	16.50	15.40	17.60	17.60	19.80	18.70	13.20	17.60	21.12	214.72	287,081
硫酸第二鉄		229.20	196.80	165.60	184.80	136.80	183.60	184.80	159.60	220.80	190.80	195.60	183.60	204.00	74,256
硫酸第一鉄		12.60	1.80	0.00	1.80	6.30	0.00	0.00	0.00	0.00	2.25	10.35	23.75	58.85	30,543
塩化第に鉄		3.00	15.00	16.00	34.00	150.62	10.80	35.67	20.78	6.90	72.99	20.00	62.80	448.56	82,535
塩素(取水場)		7.08	7.08	6.40	8.00	8.81	8.00	8.00	9.35	8.69	7.86	7.83	7.87	94.97	15,727
亜塩素酸ナトリウム		13.40	12.80	14.00	11.60	8.25	11.00	13.75	16.50	8.25	16.50	13.75	16.85	156.65	371,887
過マンガン酸カリウム		3.90	1.58	0.88	0.88	2.65	0.00	0.00	2.13	0.00	0.00	0.00	0.68	12.70	36,703

水質試験頻度

Deir Allah 取水場

濁度

2時間毎

線虫

1回/日

藻類

1回/日

残留二酸化塩素濃度

2時間毎

採取し、2時間後の値

Zai 浄水場

原水

流入量

1時間毎

濁度

2時間毎

pH

2時間毎

EC

2時間毎

DO

2時間毎

Temp.

2時間毎

浄水

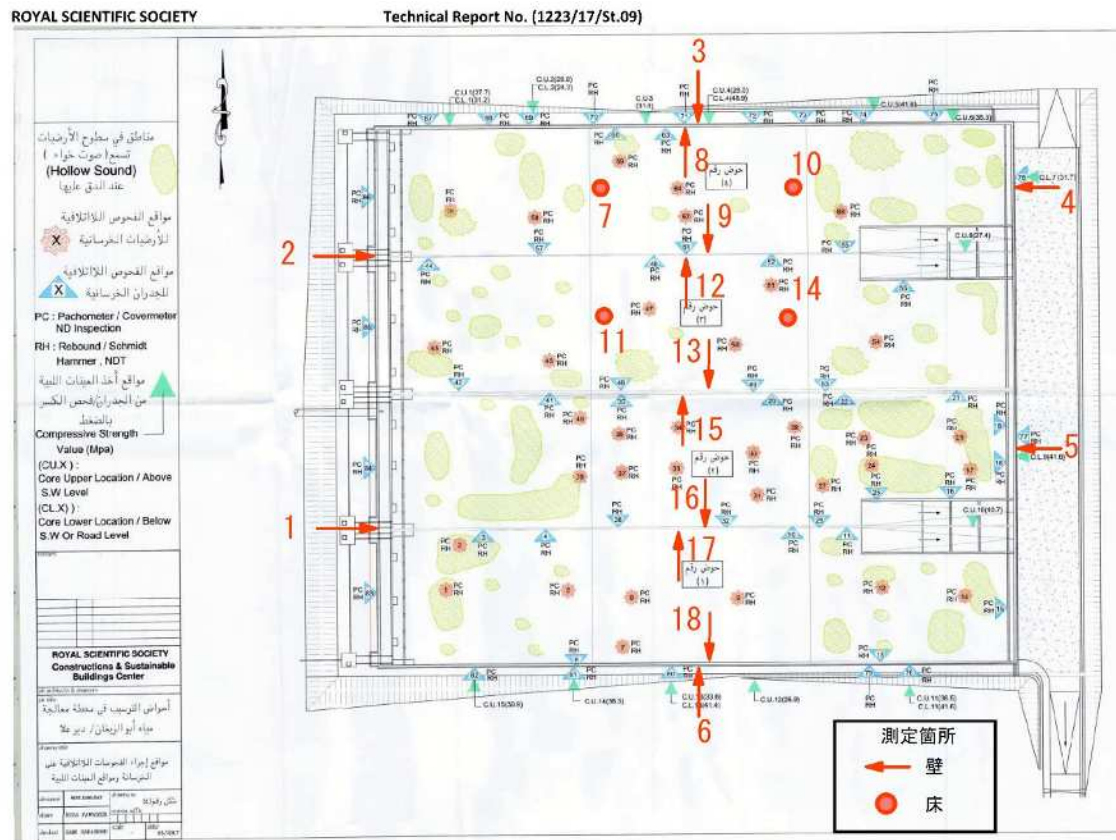
残留塩素

濁度

沈砂池におけるシュミットハンマー試験結果

2019/8/29 ザイ給水調査団

1. 測定箇所



2. 測定結果および圧縮強度の推定

単位: kg/cm2																			
測定箇所		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
打撃回数 ごとの強度 (R値)	1	45	52	52	47	47	50	35	48	44	34	33	42	43	29	41	35	45	45
	2	46	45	47	43	44	46	29	42	42	36	30	44	44	28	43	40	45	49
	3	46	49	49	45	44	49	35	45	41	39	35	47	37	42	38	43	41	43
	4	54	49	50	44	44	48	36	43	37	46	28	44	43	33	36	36	42	49
	5	47	52	52	46	44	46	45	46	43	43	32	41	45	40	38	42	43	45
	6	50	52	48	52	44	46	34	44	44	31	36	47	44	37	30	38	42	46
	7	49	48	47	44	48	50	31	42	46	30	37	43	45	41	39	34	39	48
	8	54	52	49	57	45	35	36	45	45	26	30	47	42	39	36	43	43	50
	9	49	50	51	42	43	51	35	41	45	41	34	43	44	41	35	36	43	46
	10	53	53	54	51	37	54	39	42	46	41	28	44	44	36	36	37	43	49
	11	52	55	48	43	45	51	41	48	47	30	34	45	43	41	37	41	42	52
	12	56	50	47	47	45	49	35	45	48	44	30	46	45	42	37	43	45	49
	13	57	51	46	46	44	46	39	42	45	38	30	43	46	38	38	38	41	45
	14	-	56	54	44	41	49	40	40	44	46	34	43	47	38	39	35	43	53
	15	-	47	53	42	50	48	35	42	46	44	29	47	44	42	34	39	42	48
	16	-	57	46	53	44	49	41	45	45	40	27	49	44	32	35	38	43	52
	17	-	51	54	29	43	43	30	46	44	30	28	45	45	35	36	26	45	49
	18	-	49	48	45	48	44	37	38	45	31	29	52	43	42	34	36	48	49
	19	-	56	52	47	43	51	33	41	43	44	33	42	42	40	38	35	47	48
	20	-	50	46	45	42	45	38	42	45	31	31	39	47	35	37	37	47	48
平均値	平均値	51	51	50	46	44	48	36	43	44	37	31	45	44	38	37	38	43	48
	平均値+20%	61	61	60	55	53	58	43	52	53	44	37	54	53	46	44	46	52	58
	平均値-20%	41	41	40	37	35	38	29	34	35	30	25	36	35	30	30	30	34	38
	平均値(異常値除く)	51	51	50	46	44	48	36	43	44	37	31	45	44	39	37	38	43	48
圧縮強度 推定式	Fc=13R-184	479	479	466	414	388	440	284	375	388	297	219	401	388	323	297	310	375	440
	圧縮強度(N/mm2)	47	47	46	41	38	43	28	37	38	29	21	39	38	32	29	30	37	43

※黄着色箇所は異常値

3. 既往資料との圧縮強度比較

今回測定		既往資料	
測定箇所	N/mm2	測定箇所	N/mm2
1	47	RH84	46
2	47	RH86	44
3	46	RH71	36
4	41	RH76	35
5	38	RH77	34
6	43	RH80	34
7	28	RH59	30
8	37	RH63	36
9	38	RH61	35
10	29	RH66	25
11	21	RH45	28
12	39	RH48	36
13	38	RH49	34
14	32	RH51	35
15	29	RH35	24
16	30	RH32	37
17	37	RH4	32
18	43	RH6	27

4. 考察

今回測定結果は、既往資料で実施したシュミットハンマー試験結果とほぼ同様の値を示した。ただし、圧縮強度が大きく異なる箇所については、測定箇所のコンクリートの劣化状況等が影響したと考えられる。

5. 測定状況写真



ザイ浄水場 天日乾燥床の運用・評価

2019/8/1 ザイ給水調査団

1. 緒論

ザイ浄水場は現在 2 系統、250,000m³ の施設能力を有している。天日乾燥床が 12 池 (6,720m²/12 池、8m x 70m =560m²/1 池、H=0.8m)あり、うち 10 床は 1985 年に USAID にて建設、2 床は 2001 年日本無償資金協力時にヨルダン側負担工事にて増設されたものである。天日乾燥床(Drying Bed) という名称で呼んでいるが、実際には前段に排泥池または濃縮槽が存在せず、水道施設設計指針で規定されているラグーンである。これは浄水施設から排水した沈殿スラッジ等を直接受け入れ、調整・濃縮機能を合わせ持ったものである。尚、水道施設設計指針には天日乾燥床については細かい指針があるが、ラグーンについては特に規定が存在しない。

2. 現在の運用に関する聞き取り調査

Eng. Mohamed Hamdan (Zai WTP 場長) に聞き取りを行った。運用については以下のよう
に実施している。

- (1) 天日乾燥床は 12 床を 3 グループに分け、4 床ずつ運用している。
- (2) 沈殿槽からのスラッジについて、1 日につき 2 床へ張り込んでいる。
- (3) スラッジの受け入れが終わった 2 床は 24 時間静置する。
- (4) 翌日次の 2 床に張り込んでいる。前日にスラッジ受け入れた 2 床については、上澄水 (supernatant water) を場外ワジに排出する。
- (5) 2 床の張り込みを交互に繰り返す。2 床のスラッジが全体の容積の 70%に達するのに 10 日かかり、2 床合計 20 日を要する。その後、次のグループに移る。
- (6) 70%に達したスラッジを乾燥するのに、1 カ月を要する。

2019/6/28 に乾燥スラッジの運びだしを業者に依頼し、6 床のスラッジを 4 日で運びだした。

冬季は毎日天日乾燥床 1 床にスラッジを張り込み、乾燥させることなくそのまま場外ワジへ排出している。

3. 天日乾燥床の運用マニュアル

ザイ浄水場より入手。天日乾燥床のオペレーターがいつどのように作業するかについて書かれたもの。A4 アラビア語 1 枚で、場長からの聞き取り内容の要約が書かれている。

4. 過去の運用に関する聞き取り調査

Eng. Haitham Al-Kilan 氏に聞き取りを行った。

USAID が建設した浄水場が完成（1 系統、125,000m³）した初年度、天日乾燥床を運用したところ、夏期はスラッジが乾燥したが、冬季は全くスラッジが乾かず、以来冬季は天日乾燥床を使用していないとのこと。（冬季は乾くまで 4~6 カ月かかるとのこと。）

5. 天日乾燥床の運用記録

2018 年 11 月 1 日から 2019 年 7 月 25 日までの運用記録を入手した。それ以前の記録は存在しない。記録によると、今年本格的に運用を開始したのは 7/11 で、それまでは場長のヒアリングにあった通り、毎日天日乾燥床 1 床へスラッジを張り込み、乾燥させることなくスラッジのまま場外ワジへ排出している。（月により 1 日~10 日程度、別床への張り込みも行っている。）7/11 からの運用記録によると、1 日につき 2~5 床に張り込み、次の日同じ乾燥床に張り込むケースがあるなど、場長のヒアリングにあった 3 グループに分け 4 床ずつ使用、というローテーションが必ずしも正確に行われているわけではないが、各床のスラッジ濃度を 70%に高めるべく各床の張り込み具合を見極めながら運用が行われている。

6. 天日乾燥床の使用状況調査

7/11 より毎日 13:00、弊団にて天日乾燥床の使用状況を調査した。（金曜日を除く）各床の張り込み具合を見極めながら運用が行われている。12 床のうち 1 床はスラッジ張り込みパイプの故障で使用されていない。USAID の原設計では、上澄水を Wash Water Recovering Tank に戻すことになっているが、現在は使用せず、場外ワジへ直接上澄水を排出している。3 床については上澄集水装置の故障で上澄水が排出できていない。

7. 天日乾燥床の評価

本案件の天日乾燥床はラグーンであり、沈殿スラッジ等を直接受け入れ、調整・濃縮機能を合わせ持つ機能を持つ。スラッジの濃縮率を高めた後乾燥工程に入るため、現在のスラッジの張り込み・濃縮・乾燥工程の運用方法はザイ浄水場からの聞き取り、運用記録、使用状況調査から見て、運用手順通りではない面はあるものの状況を勘案しながら適正に行われており特に問題はない。上澄水は Wash Water Recovering Tank に戻すべきで、運用を見直す必要がある。張り込みパイプや上澄水排出用バルブの故障は乾燥工程に影響することから、修理を行う必要がある。

乾燥床の数については、夏期は 7/11 に運用を開始してからまだ全ての乾燥床のスラッジが全体の容積の 70%に達していないが、現在の状況から推測すると 8 月いっぱい全ての乾燥床が 70%に達するものと思われる。その後約 1 ヶ月スラッジの乾燥工程に入るため、9 月に浄水施設から排水される沈殿スラッジは天日乾燥床に張り込むことができず、直接外

部へ排出されるものと思われる。すなわち夏期でも汚泥乾燥床の数が不足している。冬季については聞き取りで乾燥まで4~6か月との回答があり、圧倒的に数が不足している。

以上

ザイ浄水場から放流されている汚泥に関する調査報告

2019/7/26 ザイ給水システム調査団

1. 緒論

本報告では、2019年7月15日に貴機構、WAJ、Miyahunaの三者によって署名されたM/Dの9-1節「ザイ浄水場における排泥処理工程の現状」に係り、現在までに得られた情報を整理する。上記M/Dには、ヨルダン政府が速やかに当該排泥処理の現状を調査した上で、環境へ負の影響を与えない適地（environmentally safe site）へこれを廃棄することをコミットした旨が明記されており、また、ヨルダン政府側によって当年10月末までにfeasible planを提出（貴機構ヨルダン事務所宛て）、来年3月末までに同計画を実施することがすでに合意されている。ゆえに、本報告に記す内容は、上記M/Dにおいて当該記載が取り交わされた「背景」に位置付けられるものに過ぎない。また、本報告はこれから調査団によって作成される既存上水道施設の施設・機材改良計画に対する環境社会配慮確認に資するものである。

2. ザイ浄水場における汚泥の生成と性状、放流の状況

2.1. 汚泥生成の現況

下図1にザイ浄水場における天日乾燥床の概観を示す。本調査で得た浄水場への流入量、各種薬剤の注入量および濁度のデータに基づいて調査団が試算したところ、2016年から2018年における汚泥の生成量は、月平均で約540トンから640トン、日平均で約18トンから21トンと見積もられた。汚泥生成量については調査団が更なる情報を収集中であり、今後それを元に精査する。夏季にあたる現在、天日乾燥に要する日数を調査中であるが、浄水場の職員からの情報によると冬季には4か月から6か月が必要とのことである。なお、乾燥させた汚泥は乾燥床の後方に重機を用いて積み上げられている状況である。



図1.天日乾燥床の状況（左図：汚泥の流入、右図：積み上げられた乾燥汚泥、2019年7月15日）

2.2. 汚泥の性状

ヨルダン国 National Agriculture Research Center (NARC) が発出した分析証明書から、当該汚泥の化学的性状を表 1 に転載する。ただし、調査団によって原記載の単位を SI 単位に変換した。なお、各分析は NARC の公定法に準じており、その詳細が現段階では未詳であるため、分析結果を他国で採用されている基準値やガイドライン値と単純に照合することはできない。また、ヨルダン国における関連法として、土壤廃棄物管理に関する規則 (Regulation concerning Solid Waste Management No.27 of 2005) および土壤保全規則 (Soil Protection Regulation No.25 of 2005) が挙げられるが、両規則とも汚泥や土壤に関する基準値は定められていない。

表 1. 汚泥の化学的性状*

分析項目	定量値	分析項目	定量値
pH	7.5 —	リン (P)	1.20 g kg ⁻¹
電気電導度 (EC)	6.7 S m ⁻¹	カリウム (K)	0.86 g kg ⁻¹
灰分	27.2 % (wt.)	マグネシウム (Mg)	2.91 g kg ⁻¹
水分含量	9.4 % (wt.)	マンガン (Mn)	0.24 g kg ⁻¹
有機物含量	63.4 % (wt.)	亜鉛 (Zn)	0.71 g kg ⁻¹
カルシウム (Ca)	38 g kg ⁻¹	銅 (Cu)	0.12 g kg ⁻¹
鉄 (Fe)	26 g kg ⁻¹	炭素－窒素比 (CN 比)	73 —
窒素 (N)	4.62 g kg ⁻¹	カドミウム	<0.0012 mg kg ⁻¹

* NARC 分析証明書 (COA) No.F18/08/14 (2018 年 8 月 9 日付) から SI 単位に変換して転載。

汚泥の基本組成は、概ね 6 割が有機物、3 割が無機物、残り 1 割が水分で構成されている。無機物全体の 1/4 近くを石灰岩由来のカルシウムと凝集剤由来の鉄が占め、植物の三大栄養素である窒素・リン・カリウムの含量が顕著に高い。一方、環境中で生物濃縮され、また、人体に対して極めて強い毒性を示すカドミウムについては、ほとんど定量限界と言えるほどの低い含量に留まるものである。なお、参考までに日本の土壤汚染対策法が定めるカドミウムおよびその化合物の含有量基準値は 150 mg kg⁻¹、同法の溶出量基準値は 0.01 mg L⁻¹、また廃棄物処理法が定める汚泥の基準 (特別管理産業廃棄物の判定基準) は 0.09 mg L⁻¹ (後者 2 つは体積あたりの値) であることを申し添える。なお、ザイ浄水場はこの測定以外にも汚泥について 2009 年に同様の化学分析を、2010 年には微生物試験を、ともに Royal Scientific Society の Environmental Research Center に依頼して実施しており、カドミウムや鉛といった有害重金属は定量限界以下、大腸菌やサルモネラ菌の含有量は 0.03 MPN¹ g⁻¹ 以下であった。

2.3. 汚泥放流の現況

次ページの図 2 にザイ浄水場からザルカ川を経て流れる汚泥水のトラッキング結果を、図 3 に同浄水場からザルカ川の起点まで流れるワジの流路と周辺の土地所有状況をそれぞれ示す。浄水場の排水口から放出された汚泥水は、流路約 600 m を経て地図上でのザルカ川起点に至る。ここから流路延長約 10 km 先の地点で水は伏流し、目視できなくなった。現在の浄水場からの排水は夏季天日乾燥床を通して放流されているため無色透明であるが、

¹ Most Probable Number の略。統計的に「最も確からしい数値」を指し、最確数法による微生物検査を実施した際の単位に使用される。

ザルカ川の起点から約 1.2 km 地点では黒く濁った水が流れており、流下途中から下水と思われる排水も混入しているものと推定される。なお、ザイ浄水場からの放出水について、pH と電気電導度（EC）を流路に沿ってトラッキングしたところ、地点間でわずかな差異は認められるものの概ね弱アルカリ性を示し、溶存物質の総量を示唆する EC は、ザイ浄水場の原水であるキングアブドラ（King. Abdullah）運河と同程度の値を示した。

現地調査では、トラッキングの終点である伏流点近傍においても地表面に黒色の汚泥が確認できたが、流路上には水を求めて草本が茂っているため、概観からは汚泥の存在が視認できない。また、伏流点以降にも地表に汚泥が堆積していることから、雨季には流路が存在すると思われる。



図 2. ザイ浄水場から流出する汚泥水のトラッキング結果（調査日：2019 年 7 月 23 日）



図 3. ザイ浄水場からザルカ川起点までのワジの流路と土地の所有状況（土地調査局による台帳に加筆）

一方、ザイ浄水場の排水口からザルカ川起点に至るまでのワジは土堤を有し、概ね排水路のような景観を示している（図 3）。土地調査局（Department of Land and Survey）より入手した土地台帳によると、ワジは 3 区画の私有地と官有地を横断してザルカ川へと流入している。流路には活性炭によって黒色を呈する汚泥が 30～40 cm ほど堆積しており、ザイ浄水場の Eng. Haitham Al-Kilan 氏によると近隣から苦情が出たこと、土地に関し裁判所に申し立てを起こした住民もいる²一方で、栄養塩に富む汚泥水を農業利用している住民もいるとのことであった。なお、土地調査局によると、前述のザルカ川を含み河川は国または地方自治体の管理地であるが、年によって流幅が変わるワジは基本的に国または地方自治体の管轄下ではないと言質を得た。さらに、WAJ の土地局（Land Department）に対するヒアリングでは、土地台帳と実際の土地所有者が合致していない場合があり、所有権をめぐる裁判になることも多々あるとのことであった。なお、WAJ およびザイ浄水場の Eng. Haitham Al-Kilan 氏より、土地の所有問題は極めてセンシティブな事象であるため、その取り扱いには十分注意し、いきなり公にせず秘密裏に行っていただききたいとの要請があり、貴機構への報告のためのみの調査である旨を伝えて了承を得ている。浄水場からザルカ川に至る流域には王立自然保護協会による自然保護地域や歴史的・文化的遺産地域は存在しないことが確認できたが、グーグルマップ上に“Zai National Park”との表示が現れることから、ヨルダンにおける国立公園の制定要件と保護／保全内容を現在継続調査中である。

3. 今後の対応

日本では産業廃棄物に分類される上水汚泥であるが、ヨルダンでは本調査時点で前述の廃棄物管理に関する規則や土壤保全規則に適正処理に係る規定はなく、下位の具体法も存在しない。しかし、汚泥水の放出に対して近隣住民から苦情が挙げたことを踏まえると、貴機構による「環境チェックリスト：14. 上水道」の確認事項である「(3)廃棄物 (a) 施設稼働に伴って発生する汚泥等の廃棄物は当該国の規定に従って適切に処理・処分されるか」に対しては、本報告冒頭の M/D に基づいて「ヨルダン側の責任によって浄水場で発生する汚泥は適切に処理される」とした上で、10 月までに提出される *feasible plan* を参照して記載することになる。

なお、ザイ浄水場の Eng. Haitham Al-Kilan 氏によると、現在、汚泥の利用については、環境省、農業省、工業省の担当者と協議中とのことである。農業分野では土壤改良剤としての活用が挙げられており、以前は近隣農家に肥料として売却していた実績から考えても現実的な案と言える。ただし、汚泥には凝集剤が含まれているため、栄養塩の含有量は高いものの、肥効の程度は明らかではない。むしろ、ザイ浄水場周辺に広く分布する石灰岩由来の未熟な岩屑土に対し、重粘質の汚泥施用が土壤の保水性を飛躍的に高めることに期待できる（図 4）。次に産業分野では、汚泥が炭酸カルシウムを多く含むことに由来するセメント資材としての利用と、豊富に活性炭を含有することに基づく燃料資材もしくは助燃材としての活用が有望とのことであった。2017 年 11 月に作成された日本企業による同氏へのヒアリ

² 上記の Haitham によると、この申し立ては裁判所より却下されたとのこと。

ング記録によると、10 年前に活性炭を含む汚泥によって大規模な火災が発生したとのことであり、適切な処理と管理が必須であることを裏付ける一方で、その可燃性の高さを利用することも確かに検討すべきであろう。

調査団としては汚泥処理の支援に係るあらゆるオプションを検討中であるため、これらに対する環境社会配慮確認を行い、今後も随時、貴機構への報告と協議を行うこととする。



図 4. ザルカ川の河床に堆積した汚泥（左図）と近傍の農地の土壌表層（右図：2019 年 7 月 23 日）

以上

ザイ国立公園 (Zay National Park) について

1. 緒論

前述の通り、Google Map®上ではザイ浄水場の南方に“Zay National Park”の表示が認められる（下図 I）。調査対象地における保護区や自然公園に関しては、今後、現地調査結果概要やドラフトファイナルレポートにて詳述するが、本稿の補遺として上記国立公園について現時点での調査結果を速報する。

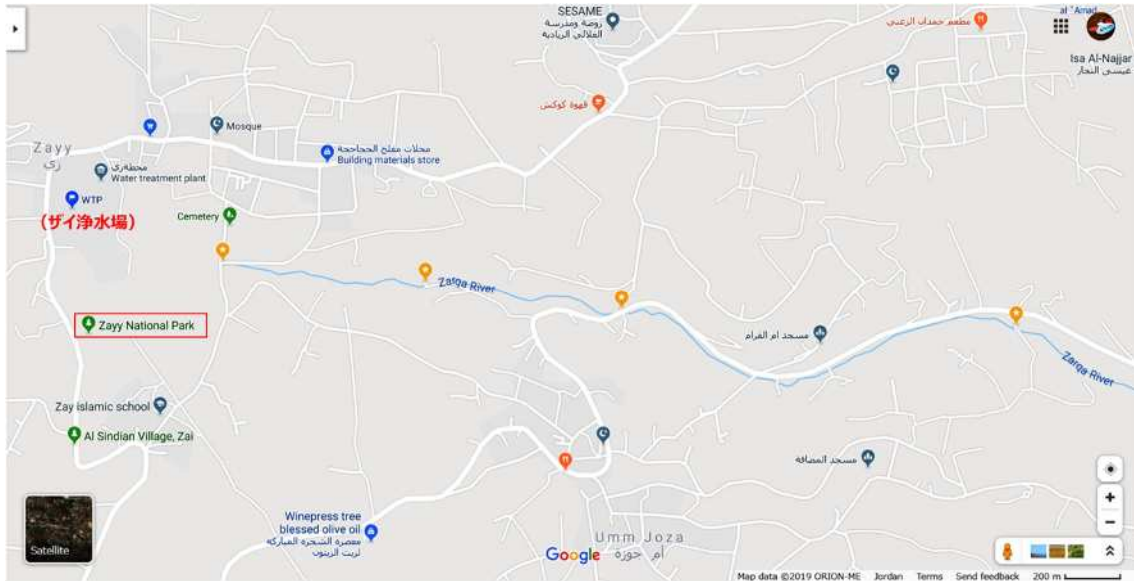


図 I . Google Map®上に表示されるザイ国立公園（閲覧日：2019 年 7 月 30 日）

2. ヨルダン国における国立公園の規定

ヨルダン環境省（Ministry of Environment）の web サイト¹にて環境保護法に基づく自然保護区および国立公園規則²を参照した。表 I に示す通り、ヨルダンの保護地域は 4 種に大別される。特別保護区については同規則の第 8 条に規定があり、その指定は閣僚評議会の決定を要せず、環境大臣の専権事項となっている。なお、自然保護区と国立公園は必ずしも官有地ではなく、同第 6 条に「土地の所有者は、専門機関（Specialized Entity）によって定められた保護目的および管理計画と矛盾しない範囲において自らの土地を使用する権利を有する」と規定されている。また、同第 7 条には「自然保護区または国立公園から得たサービス収益に係る事項は大臣の指示に従うものとする」との規定が、同 9 条には「自然資源の利用を含み、自然保護区または国立公園の境界内での活動を行う場合には専門機関の承認を要する」との規定があることから、ヨルダンにおける自然保護区や国立公園は不可侵の完全な

¹ <http://moenv.gov.jo/En/LegislationAndPolicies/Legislation/Systems/Pages/ProtectionofNatureReservesandNationalParks.aspx>（2019 年 7 月 30 日閲覧）

² Regulations No. (29) of 2005 Natural Reserves and National Parks Regulations Issued by Virtue of Sub-paragraph 6 of Paragraph A of Article 23 of the Environmental Protection Law No. (1) of 2003

保護地域ではなく、資源利用などが可能な保全地域を指すものと推定される。

表Ⅰ．ヨルダンにおける保護地域の分類

自然保護区： Natural Reserve	閣僚評議会によって指定される貴重な生物（unique creatures）が生息する生態系や、特別に保護すべき自然環境が含まれる陸地、海域、水面域。
国立公園： National Park	閣僚評議会によって指定される土地、水系、海岸、オアシス、森林、もしくは考古学的な場所（archaeological locations）。
保護区： Protected Land	閣僚評議会によって保護指定される土地。
特別保護区： Area of Special Protection	特殊な生態系や絶滅危惧生物の生息域であり、存続を確保するために特別な保護を必要とする地域。

（出典：Regulations No. (29) of 2005 Natural Reserves and National Parks Regulations）

3. 「ザイ国立公園」の位置

土地調査局（Department of Land and Survey）に申請して台帳を確認するには時間を要するため、当調査団の傭人が旧知のヨルダン農業省（Ministry of Agriculture）を訪ね、ザイ国立公園の位置を照会した。図Ⅱは応対者のモニターに表示されたザイ国立公園の位置を撮影し、これに加筆したものである。この図から、ザイ国立公園の指定箇所は点在しており、「指定地域」というよりも「指定区画群」の様相を呈していることが窺えた。また、何れの指定区画もザイ浄水場以北に所在し、同浄水場から放出されている汚泥水の流路となっているワジおよびザルカ川が流入していないことが明らかになった。ゆえに、現時点で汚泥水の放出がザイ国立公園の自然環境に負の影響を与えることは予見されないと判断された。



図Ⅱ．ザイ国立公園の位置（農業省より入手：2019年7月30日）

なお、7月23日に Eng. Haitham Al-Kilan 氏と会談した際、同氏より「乾燥地域であるヨルダンにおいて森林は非常に貴重であり、自分の所有地であっても政府の許可なしには伐倒できないほどだ」との談話を受けた。森林保全に係る法規制の詳細は今後も調査を継続するが、現段階で得た情報を概括すると、小面積であっても一定の成林が認められる地域（区画）に対しては、国がこれを保全するために「国立公園」として指定している可能性が示唆された。

以上

Monitoring form

I. Construction phase

i. Air Quality

(a) SO₂

Location	Date	24 hours average	National standard	WHO Guideline
	/ /	ppm	0.14 ppm (24 hours average)	20 µg m ⁻³ (Interim-Target -3, 24 hours average)
	/ /	ppm		
	/ /	ppm		
	/ /	ppm		
	/ /	ppm		
	/ /	ppm		

(b) NO₂

Location	Date	1 hour average	National standard	WHO Guideline
	/ /	ppm	0.21 ppm (1 hour average)	200 µg m ⁻³ (1 hour average)
	/ /	ppm		
	/ /	ppm		
	/ /	ppm		
	/ /	ppm		
	/ /	ppm		

(c) PM₁₀

Location	Date	24 hours average	National standard	WHO Guideline
	/ /	ppm	150 ppm (24 hours average)	120 µg m ⁻³ (Interim-Target -1, 24 hours average)
	/ /	ppm		
	/ /	ppm		
	/ /	ppm		
	/ /	ppm		
	/ /	ppm		

(d) PM_{2.5}

Location	Date	24 hours average	National standard	WHO Guideline
	/ /	ppm	65 ppm (24 hours average)	75 µg m ⁻³ (Interim-Target -1, 24 hours average)
	/ /	ppm		
	/ /	ppm		
	/ /	ppm		
	/ /	ppm		
	/ /	ppm		

ii. Ambient Noise Level

Time		Location
From	To	

Reference Value: National Standards of Ambient Noise*

Category of Area	Limits in dB (A) Leq	
	Day time (6 AM - 8 PM)	Night time (8 PM - 6 AM)
Residential Area (urban area)	60	50
Residential Area (suburb area)	55	45
Residential Area (rural area)	50	40

* Article (4) of the Standards for the Prevention and Elimination of Noise (2003)

iii. Waste with Odor

Date.....

Location	Discharge amount		Rate of recycle/Reuse	
	Industrial (ton)	Domestic (kg)	Industrial (%)	Domestic (%)
Odor	☐ Acceptable		☐ Not-acceptable	

iv. Record of machinery maintenance

Date	Machinery name	ID No.	Content of maintenance

v. Disturbance to Existing Social Infrastructure and Services

Traffic volume (vehicles and others used for the transportation and construction work)

Date	Location	Start time	End time	Weather
/ /		:	:	

Traffic	Tally	Traffic	Tally
Bicycle		Articulated lorry	
Motorcycle		Bus/Coach	

Car		Construction vehicle	
Van/Pick-up		Farm vehicle	
Small lorry		Other	

vi. Work Environment (daily and monthly)

Monitor record of trainings on health and safety, observation and inspection on site, workers' health condition and medical check-ups' record, number of accidents and their working hours

vii. Accidents Record

(a) Number of traffic accidents

(b) No. of accidents (human and fire cases)

(c) Record of accidents

• Date & Time: _____

• Location: _____

• Accident details: _____

II. Operation stage

i. Work Environment and Accidents

(a) Check of cautionary signs placed on required points on site

• _____

• _____

• _____

(b) Record of accidents

• Date & Time: _____

• Location: _____

• Accident details: _____

ザイ給水システム改良計画準備調査：環境チェックリスト

分類	環境項目	主なチェック事項	Yes: Y No: N	具体的な環境社会配慮 (Yes/Noの理由、根拠、緩和策等)
1 許認可・説明	(1)EIAおよび環境許認可	(a) 環境アセスメント報告書（EIAレポート）等は作成済みか。 (b) EIAレポート等は当該国政府により承認されているか。 (c) EIAレポート等の承認は付帯条件を伴うか。付帯条件がある場合は、その条件は満たされるか。 (d) 上記以外に、必要な場合には現地の所管官庁からの環境に関する許認可は取得済みか。	(a) N (b) N (c) N (d) N	(a) 本事業はヨルダン国の環境影響評価規則（EIA規則、2005年）の付属書2が定める「EIAが要求される事業」に該当しないため、実施機関（WAJ）によるEIAレポートは作成されない。なお、コンポーネントが確定した後、JICA調査団によってIEEE報告書が作成され、技術委員会（Technical Committee）にて審議される予定である。 (b) 上記IEEEレポート未承認 (c) 非該当 (d) 環境許可は不要
	(2)現地ステークホルダーへの説明	(a) プロジェクトの内容および影響について、情報公開を含めて現地ステークホルダーに適切な説明を行い、理解を得ているか。 (b) 住民等からのコメントを、プロジェクト内容に反映させたか。	(a) N (b) N	(a) 本事業は既設の敷地内において機材・設備を更新するものであるため、現地ステークホルダーへの説明は要さない。 (b) 非該当
	(3)代替案の検討	(a) プロジェクト計画の複数の代替案は（検討の際、環境・社会に係る項目も含めて）検討されているか。	(a) N	(a) コンポーネントの検討・選定過程において優先順位付けは行われているが、コンポーネントが未確定のため、代替案は検討されていない。なお、いずれもコンポーネントも既設の敷地内で実施されるため、環境・社会への影響は軽微である。
	(1)大気質	(a) 消毒用塩素の貯蔵設備、注入設備からの塩素による大気汚染はあるか。 (b) 作業環境における塩素は当該国の労働安全基準等と整合するか。	(a) N (b) Y	(a) 塩素による大気汚染は予見されない。 (b) 塩素の貯蔵・注入施設を含め労働安全基準は遵守される。
2 汚染対策	(2)水質	(a) 施設稼働に伴って発生する排水のSS、BOD、COD、pH等の項目は当該国の排水基準等と整合するか。	(a) Y	(a) 排水のSS、BOD、COD、pH等は環境基準を満たしている。なお、BODやCODに代わり、全有機体炭素（TOC）量によって有機汚染が評価されている。
	(3)廃棄物	(a) 施設稼働に伴って発生する汚泥等の廃棄物は当該国の規定に従って適切に処理・処分されるか。	(a) Y	(a) 浄水過程で発生する汚泥は、運営維持管理機関（MIYAFUNA）によって適正に処理される計画が立案中であり、2020年3月までに策定される。
	(4)騒音・振動	(a) ポンプ施設等からの騒音・振動は当該国の基準等と整合するか。	(a) Y	(a) 騒音・振動は環境基準と整合される。
	(5)地盤沈下	(a) 大量の地下水汲み上げを行う場合、地盤沈下が生じる恐れがあるか。	(a) N	(a) 地下水を利用しないため非該当。
3 自然環境	(1)保護区	(a) サイトは当該国の法律・国際条約等に定められた保護区内に立地するか。プロジェクトが保護区に影響を与えるか。 (a) サイトは原生林、熱帯の自然林、生態学的に重要な生息地（珊瑚礁、マングローブ湿地、干潟等）を含むか。 (b) サイトは当該国の法律・国際条約等で保護が必要とされる貴重種の生息地を含むか。 (c) 生態系への重大な影響が懸念される場合、生態系への影響を減らす対策はなされるか。 (d) プロジェクトによる取水（地表水、地下水）が、河川等の水域環境に影響を及ぼすか。	(a) N (a) N (b) N (c) N (d) N	(a) 国立公園に指定された区画（林分）が近隣に散在するが、影響を与えることは予見されない。 (a) 非該当 (b) 非該当 (c) 非該当 (d) 非該当
	(2)生態系	(a) プロジェクトによる取水（地下水、地表水）が地表水、地下水の流れに悪影響を及ぼすか。	(a) N	(a) 取水量に変更はないため、水象に悪影響を及ぼすことは予見されない。

ザイ給水システム改良計画準備調査：環境チェックリスト

分類	環境項目	主なチェック事項	Yes: Y No: N	具体的な環境社会配慮 (Yes/Noの理由、根拠、緩和策等)
4 社 会 環 境	(1)住民移転	(a) プロジェクトの実施に伴い非自発的住民移転は生じるか。生じる場合は、移転による影響を最小限とする努力がなされるか。 (b) 移転する住民に対し、移転前に補償・生活再建対策に関する適切な説明が行われるか。 (c) 住民移転のための調査がなされ、再取得価格による補償、移転後の生活基盤の回復を含む移転計画が立てられるか。 (d) 補償金の支払いは移転前に行われるか。 (e) 補償方針は文書で策定されているか。 (f) 移転住民のうち特に女性、子供、老人、貧困層、少数民族・先住民族等の社会的弱者に適切な配慮がなされた計画か。 (g) 移転住民について移転前の合意は得られるか。 (h) 住民移転を適切に実施するための体制は整えられるか。十分な実施能力と予算措置が講じられるか。 (i) 移転による影響のモニタリングが計画されるか。	(a) N (b) N (c) N (d) N (e) N (f) N (g) N (h) N (i) N (j) N	(a) 本事業では、いかなる住民移転も発生しない。 (b) 非該当 (c) 非該当 (d) 非該当 (e) 非該当 (f) 非該当 (g) 非該当 (h) 非該当 (i) 非該当 (j) 非該当
	(2)生活・生計	(a) プロジェクトにより住民の生活に対し悪影響が生じるか。必要な場合は影響を緩和する配慮が行われるか。 (b) プロジェクトによる取水（地表水、地下水）が、既存の水利用、水域利用に影響を及ぼすか。	(a) N (b) N	(a) 住民生活に対して悪影響が生じることはない。 (b) 現行の取水量に変更はなく、取水する河川への新たな薬剤注入や土木工事も行わないため、既存の水利用や水域利用に影響を及ぼすことはない。
	(3)文化遺産	(a) プロジェクトにより、考古学的、歴史的、文化的、宗教的に貴重な遺産、史跡等を損なう恐れはあるか。また、当該国の国内法上定められた措置が考慮されるか。	(a) N	(a) 事業サイト内外には、ユネスコが指定する世界遺産は存在しない。また、ヨルダン国内法で指定された歴史的、文化的、宗教的に貴重な遺産・史跡も存在しない。さらに、地元住民の慣習や文化にもつづいた遺産も位置していない。
	(4)景 観	(a) 特に配慮すべき景観が存在する場合、それに対し悪影響を及ぼすか。影響がある場合には必要な対策は取られるか。	(a) N	(a) 事業サイトには配慮すべき景観はない。また、本事業は既設の敷地内で行われるため、景観に影響を及ぼすことは予見されない。
	(5)少数民族、先住民族	(a) 当該国の少数民族、先住民族の文化、生活様式への影響を軽減する配慮がなされているか。 (b) 少数民族・先住民族の土地及び資源に関する諸権利は尊重されるか。	(a) N (b) N	(a) 非該当 (b) 非該当
	(6)労働環境	(a) プロジェクトにおいて遵守すべき当該国の労働環境に関する法律が守られるか。 (b) 労働災害防止に係る安全設備の設置、有害物質の管理等、プロジェクト関係者へのハード面での安全配慮が措置されているか。 (c) 安全衛生計画の策定や作業員等に対する安全教育（交通安全や公衆衛生を含む）の実施等、プロジェクト関係者へのソフト面での対応が計画・実施されるか。 (d) プロジェクトに関係する警備要員が、プロジェクト関係者・地域住民の安全を侵	(a) Y (b) Y (c) Y (d) Y	(a) 従来通り、労働環境に関するヨルダンの国内法は遵守され、健康と安全が優先される。 (b) 労働災害防止に係るハード面およびソフト面の安全配慮は徹底されている。 (c) 実施機関によって安全教育に係る講習や研修が実施されている。 (d) 実施機関によって安全措置は徹底されており、警備員も常駐している。

ザイ給水システム改良計画準備調査：環境チェックリスト

分類	環境項目	主なチェック事項	Yes: Y No: N	具体的な環境社会配慮 (Yes/Noの理由、根拠、緩和策等)
5 その	(1) 工事中の影響	(a) 工事中の汚染（騒音、振動、濁水、粉じん、排ガス、廃棄物等）に対して緩和策が用意されるか。	(a) Y	(a) 実施機関によって大気汚染、振動・騒音、廃棄物に対する緩和策が用意される。
		(b) 工事により自然環境（生態系）に悪影響を及ぼすか。また、影響に対する緩和策が用意されるか。	(b) N	(b) 工事による生態系への悪影響は予見されず非該当。
		(c) 工事により社会環境に悪影響を及ぼすか。また、影響に対する緩和策が用意されるか。	(c) Y	(c) 工事車輛の往来によって事故が発生する可能性があり、実施機関による緩和策が用意される。
6 他の	(2) モニタリング	(a) 上記の環境項目のうち、影響が考えられる項目に対して、事業者のモニタリングが計画・実施されるか。	(d) Y	(d) 工事車輛の往来によって渋滞の発生が予見されるため、実施機関によって緩和策が用意される。
		(b) 当該計画の項目、方法、頻度等がどのように定められているか。	(a) Y	(a) 工事中において、大気質、騒音・振動の発生、廃棄物の適正処理に関する事業者モニタリングが実施される。
		(c) 事業者のモニタリング体制（組織、人員、機材、予算等とそれらの継続性）は確立されるか。	(b) — (c) Y (d) Y	(b) モニタリング手法と頻度は事業者によってモニタリング・フォームに記載される。 (c) 実施機関の監督のもと、事業者モニタリング体制が確立される。 (d) 事業者は実施機関および運営維持管理機関にモニタリング結果を定期的に報告される。
6 留意 点	他の環境チェックリストの参照	(a) 必要な場合は、ダム、河川に係るチェックリストの該当チェック事項も追加して評価すること。	(a) N	(a) 本事業では取水する河川に対する土木工事等は行わないため非該当。
	環境チェックリスト使用上の注意	(a) 必要な場合には、越境または地球規模の環境問題への影響も確認する（廃棄物の越境処理、酸性雨、オゾン層破壊、地球温暖化の問題に係る要素が考えられる場合等）。	(a) N	(a) 既存の上水システムに対して本事業を実施することにより、年間13.61 Mt-CO2のGHGが削減される見込みであり、地球温暖化に寄与することはない。

注 1) 表中『当該国の基準』については、国際的に認められた基準と比較して著しい乖離がある場合には、必要に応じ対応策を検討する。
当該国において現在規制が確立されていない項目については、当該国以外（日本における経験も含めて）の適切な基準との比較により検討を行う。

注 2) 環境チェックリストはあくまでも標準的な環境チェック項目を示したものであり、事業および地域の特性によっては、項目の削除または追加を行う必要がある。

年間あたりの温室効果ガス (GHG) 排出量(Mt-CO₂/year) 基準値・目標値

1. 電力 CO₂ 排出係数の算出

電力公社 (National Electric Power Company : NEPCO) の Annual Report 2017¹より,

i 発電方式別発電量 EG (GWh)

Steam Units: 1,963.40 GWh

Combined Cycle: 15,289.50 GWh (a)

Gas Turbines (Diesel): 18.8 GWh (b)

Gas Turbines (NG): 1022.7 GWh (c)

Diesel Engines: 12.7 GWh (d)

Hydro: 38.0 GWh (e)

Wind: 449.2 GWh (f)

以上より,

重油 (HFO) による発電 : 1,963.4 GWh

天然ガス (NG) による発電 : 16,312.2 GWh [(a)+(c)]

Diesel Oil による発電 : 31.5 GWh [(b)+(d)]

再生エネルギーによる発電 : 487.2 GWh [(e)+(f)]

合計 : 18,794.3 GWh

ii 燃料消費量 FC_{TTOE} (TTOE*/year)

*Thousand Tons of Oil Equivalent

HFO: 454.1 TTOE/year

NG: 3340.9 TTOE/year

Diesel Oil: 9.4 TTOE/year

合計 3804.4 TTOE/year

燃料消費量 FC (Gg/year) は次式によって求められる。

$$FC \text{ (Gg/year)} = \text{燃料消費量 (TTOE/year)} \times \text{HFO の真発熱量 } NCV_{HFO} \text{ (TJ/Gg)} \times 10^3 \\ \div \text{真発熱量 } NCV \text{ (TJ/Gg)}$$

IPCC 2006 Guideline: Volume 2 Energy のデフォルト値は次表の通り。

¹ http://www.nepco.com.jo/store/docs/web/2017_en.pdf

	Crude Oil	Natural Gas	Diesel Oil
Default carbon content (kg/GJ)	20.00	15.30	20.20
Effective CO ₂ emission factor: EF (kg/TJ) (TJ/Gg)	73,333	56,100	74,067
Net calorific value: NCV (TJ/Gg)	42.30	43.00	48.00

ゆえに,

$$\text{HFO: } FC_{\text{HFO}} = 454.1 \times 42.30 \times 10^3 \div 42.30 = 454.1 \times 10^3 \text{ (Gg/year)}$$

$$\text{NG: } FC_{\text{NG}} = 3,340.9 \times 42.30 \times 10^3 \div 43.0 = 3,287 \times 10^3 \text{ (Gg/year)}$$

$$\text{Diesel Oil: } FC_{\text{diesel}} = 9.4 \times 42.30 \times 10^3 \div 48.0 = 8.28 \times 10^3 \text{ (Gg/year)}$$

CO₂ 排出量 PE_{FC} (t-CO₂/year)($FC \times NCV \times EF$) は次式によって求められる。

$$PE_{FC} \text{ (t-CO}_2\text{/year)}(FC \times NCV \times EF) = \text{燃料消費量 } FC(\text{Gg/y}) \times \text{CO}_2 \text{ 排出係数 } EF \text{ (kg/TJ)} \\ \times \text{真発熱量 } NCV \text{ (TJ/Gg)} \times 10^{-8}$$

ゆえに,

$$\text{HFO: } PE_{\text{HFO}} = 454.1 \times 10^3 \times 73,333 \times 42.30 \times 10^{-8} = 14,086.1 \text{ (t-CO}_2\text{/year)}$$

$$\text{NG: } PE_{\text{NG}} = 3,340.9 \times 10^3 \times 56,100 \times 42.30 \times 10^{-8} = 80,592.5 \text{ (t-CO}_2\text{/year)}$$

$$\text{Diesel Oil: } PE_{\text{diesel}} = 9.4 \times 42.30 \times 42.30 \times 10^{-8} = 334.2 \text{ (t-CO}_2\text{/year)}$$

合計	95,012.8 (t-CO ₂ /year)
----	------------------------------------

電力 CO₂ 排出係数 CEF (t-CO₂/MWh)

$$= \text{燃料別 CO}_2 \text{ 排出量 } PE \times 10^3 \div (\text{総発電量 } EG \times 8,760 \text{ 時間}) \text{ より,}$$

$$\text{電力 CO}_2 \text{ 排出係数 } CEF(\text{t-CO}_2\text{/MWh}) = 95,012.8 \times 10^3 \div (18,794.3 \times 8,760) \\ = \mathbf{0.5771 \text{ t-CO}_2\text{/MWh}}$$

2. 現状の年間電力量に基づく GHG 排出量の算出

$$\text{現状の年間電力量 } 332,646,365 \text{ (kWh/year)} \times \text{電力 CO}_2 \text{ 排出係数 } 0.5771 \text{ (t-CO}_2\text{/MWh)} = \\ 191.97 \text{ (Mt-CO}_2\text{/year)}$$

3. ポンプとモータの更新に基づく GHG 削減量の算出

各ポンプステーションにおける GHG 削減量は下表の通り。

ポンプステーション	IPS	PS1	PS2	PS3	PS4	PS5	Total
更新後の電力削減量 (MWh/year)	1.15	1.18	-0.09	2.33	3.91	3.76	12.24
GHG 削減量 (Mt-CO ₂ /year)	0.66	0.68	-0.05	1.34	2.26	2.17	7.06

更新後の電力削減量 $12.24 \text{ (MWh/year)} \times \text{電力 CO}_2 \text{ 排出係数 } 0.5771 \text{ (t-CO}_2\text{/MWh)} = 7.06 \text{ (Mt-CO}_2\text{/year)}$

4. 更新後の GHG 排出量

現状の GHG 排出量 $191.97 \text{ (Mt-CO}_2\text{/year)}$ - 更新後の GHG 削減量 $7.06 \text{ (Mt-CO}_2\text{/year)} = 184.91 \text{ (Mt-CO}_2\text{/year)}$

5. 年間あたりの温室効果ガス（GHG）排出量(Mt-CO₂/year) 基準値・目標値

2～5 の結果に基づき、年間あたりの温室効果ガス（GHG）排出量(Mt-CO₂/year) 基準値を $191.97 \text{ (Mt-CO}_2\text{/year)}$ 、目標値を $185 \text{ (Mt-CO}_2\text{/year)}$ 以下とする。

以上

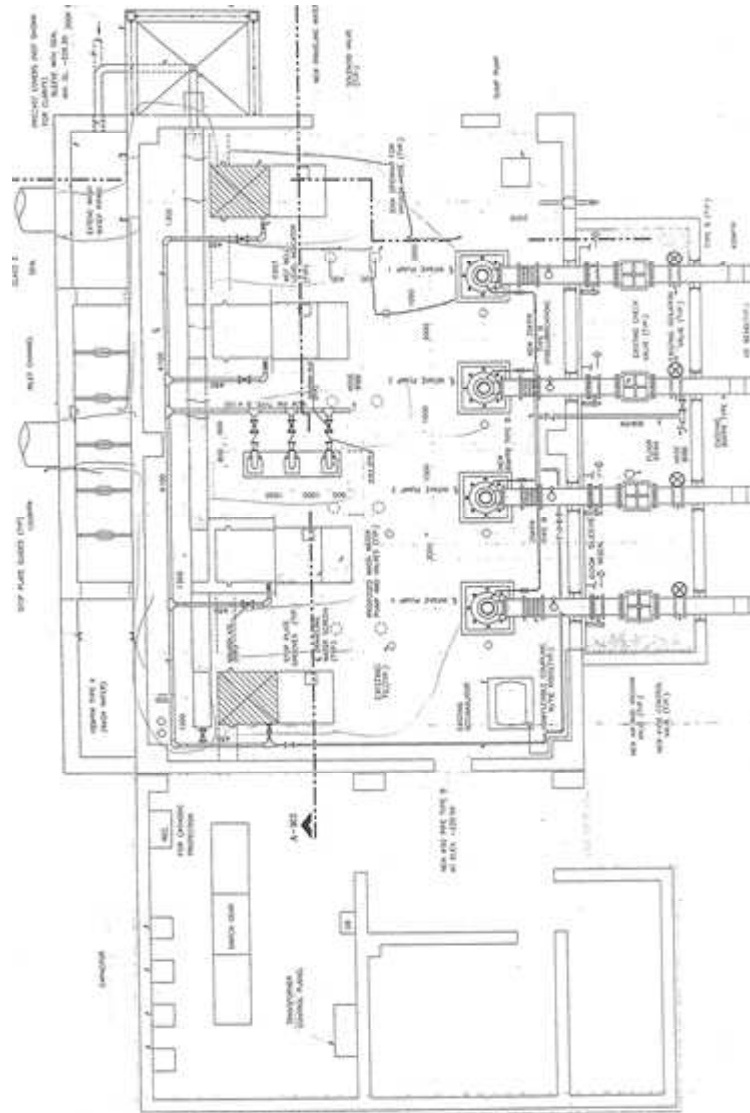


図-01 ザイ給水システム改良計画

取水ポンプ場平面図

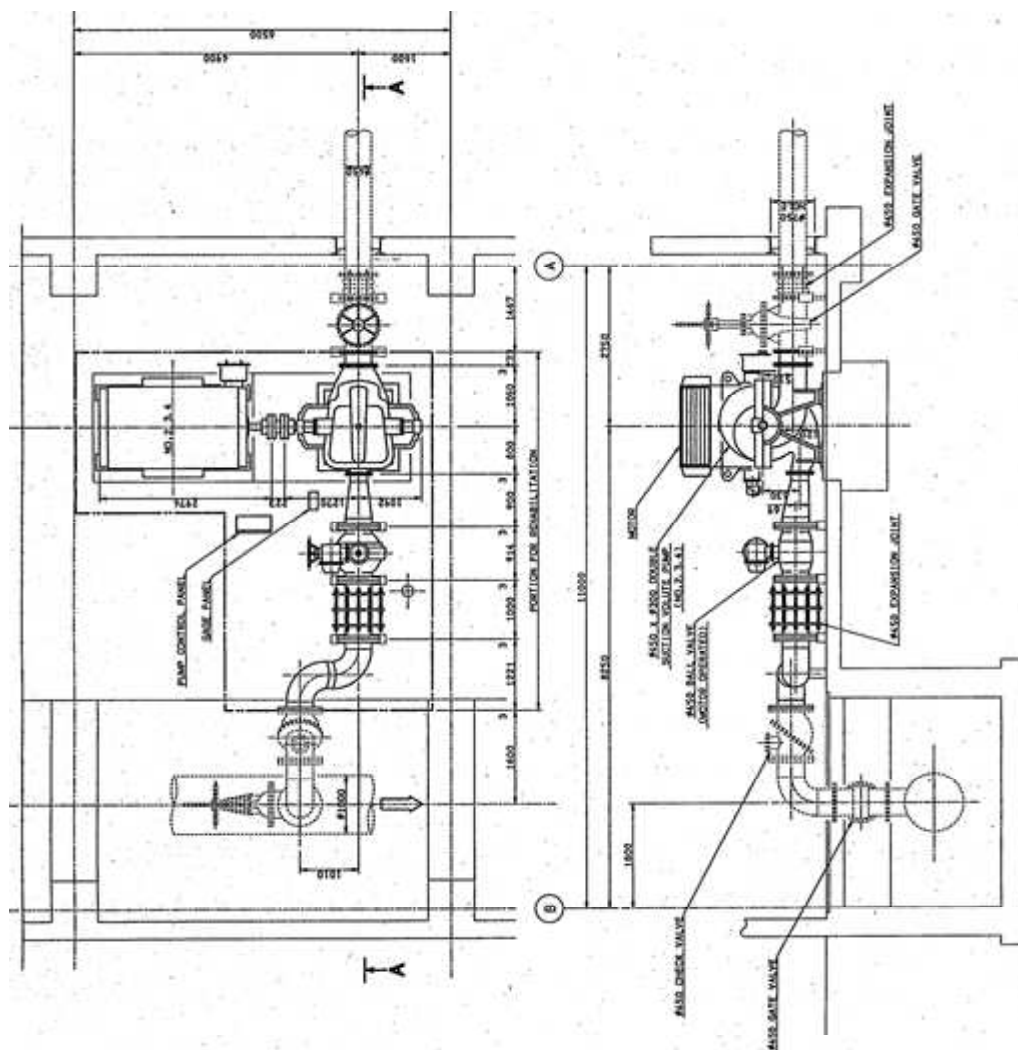


図-04 ザイ給水システム改良計画

送水・配水ポンプ・モータ据付図 (PS1-5)

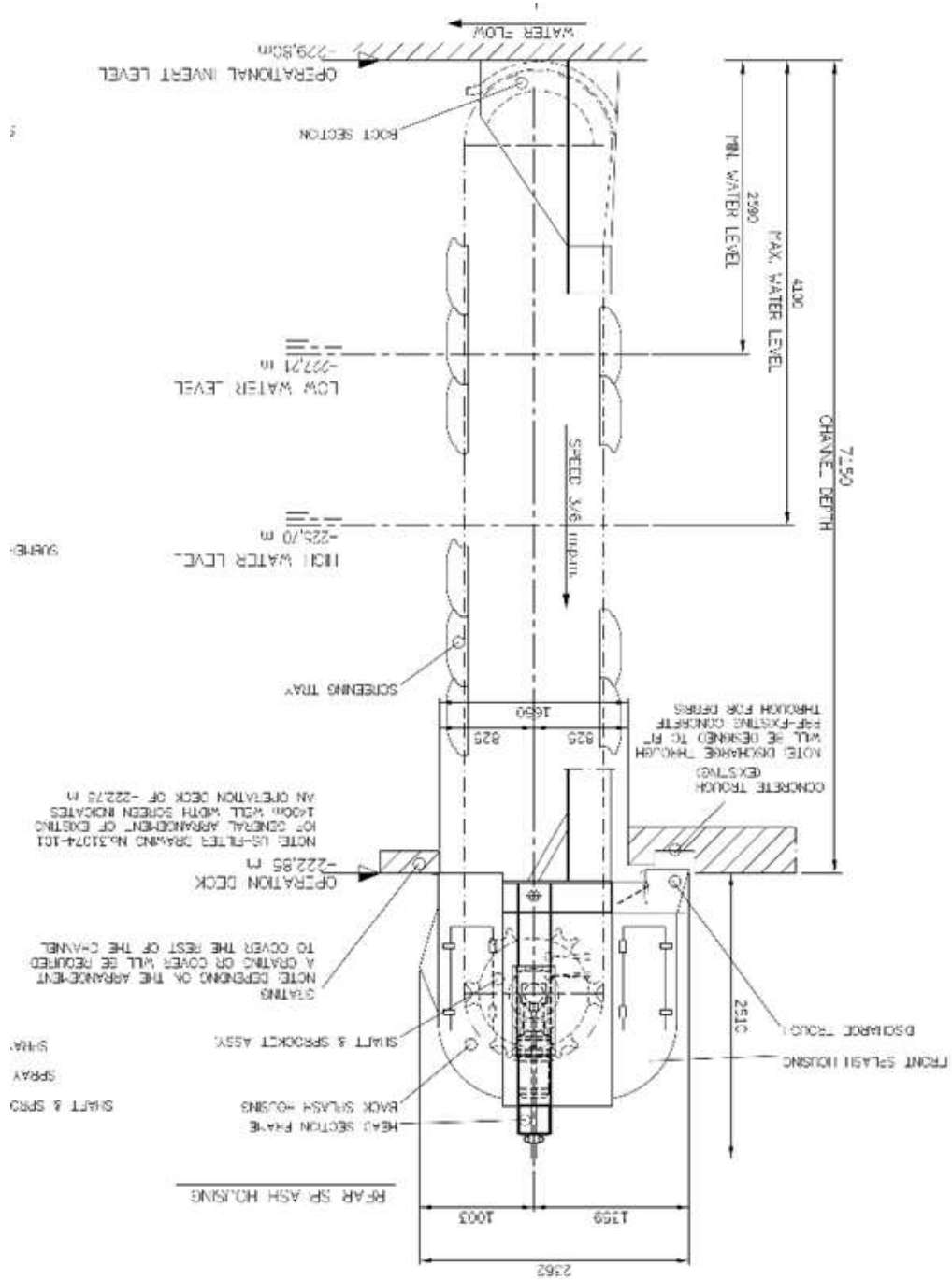


図-05 ザイ給水システム改良計画

トラベリングスクリーン外形図

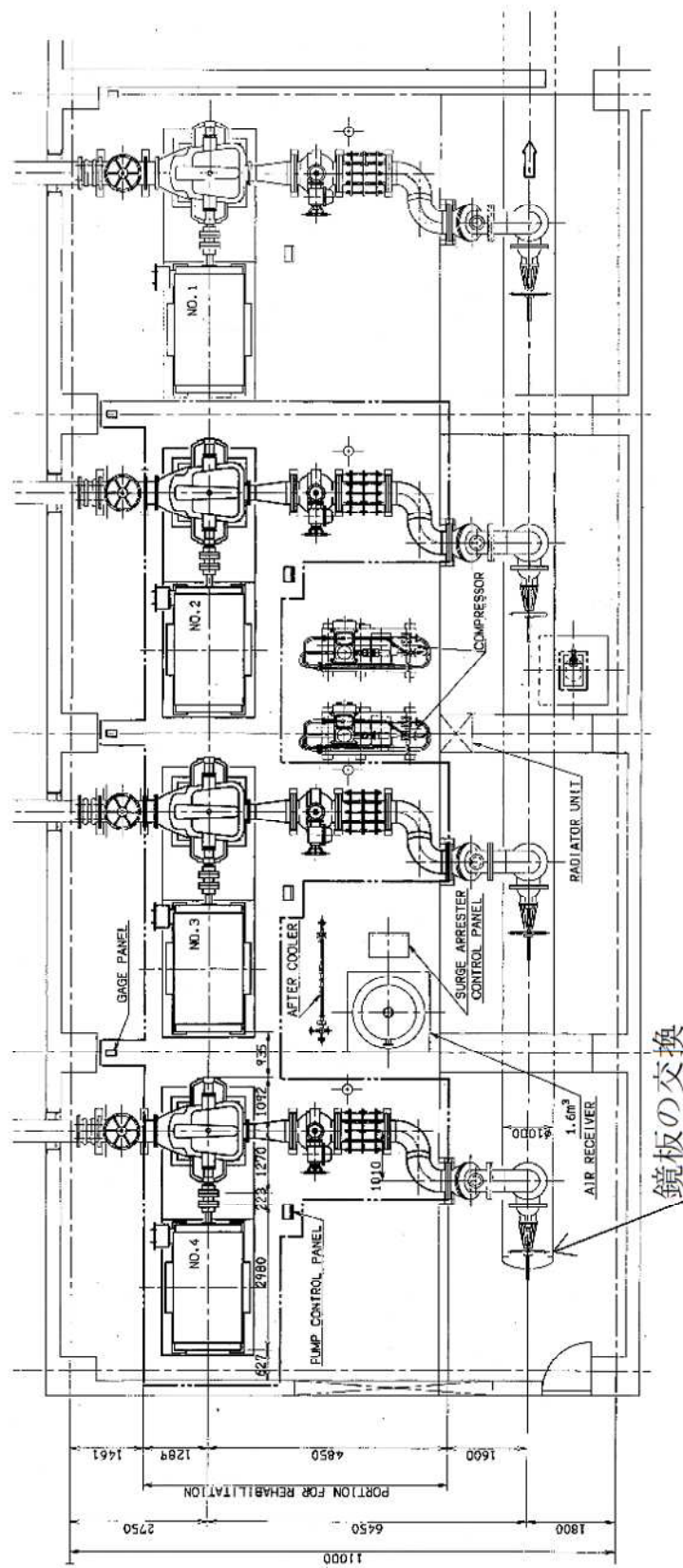


図-06 ザイ給水システム改良計画

鏡板取付位置図 (PS1-5)

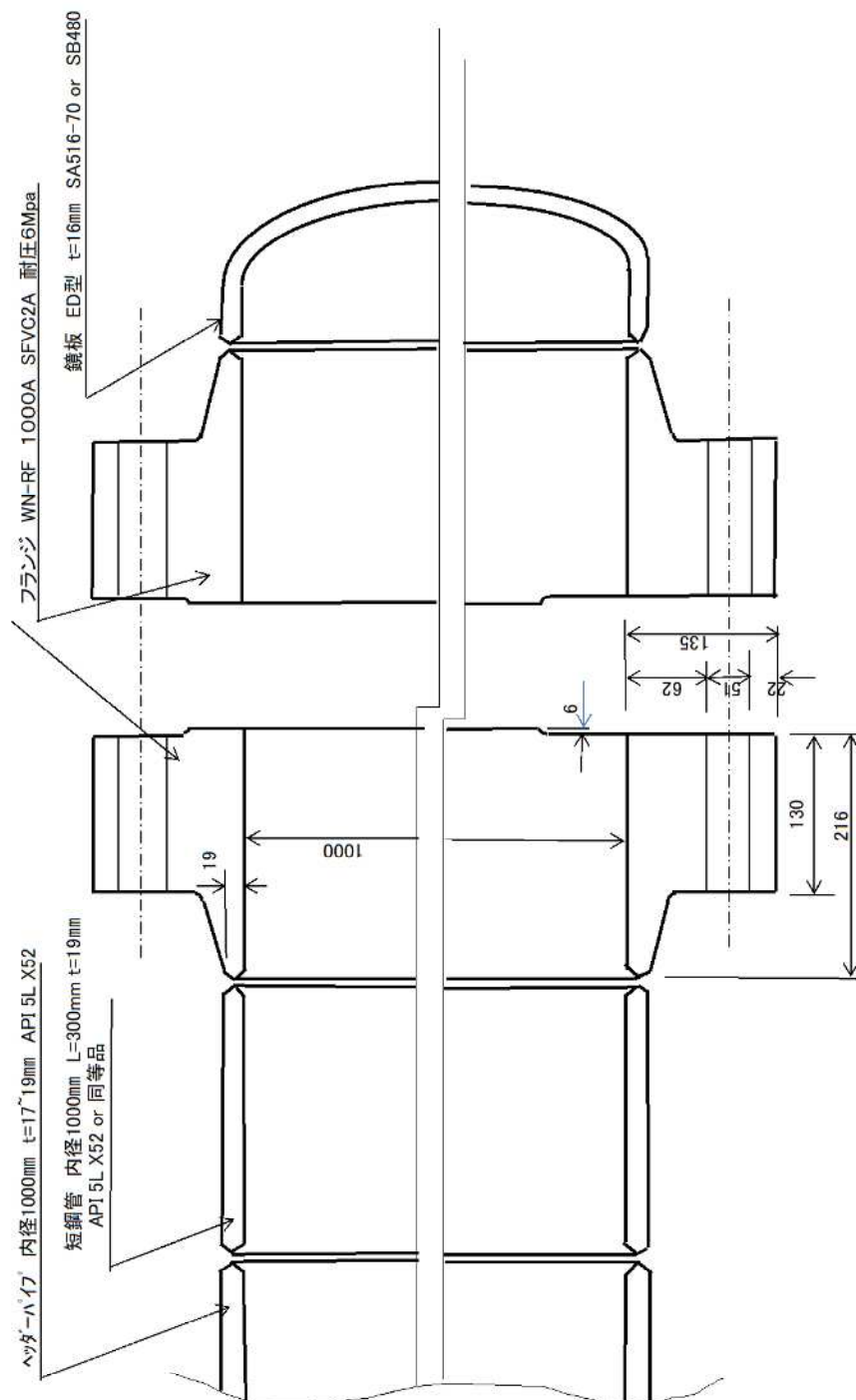


図-07 ザイ給水システム改良計画

鏡板概略図

資料18 ザイ給水システムにより供給される水量1m3あたりの電力消費量

ポンプ 機場	ポン プ 号 機	ポン プ 容 量	ポン プ 全 揚 程	対 象 機 器	オ リ ジ ナ ル 機 器 効 率	オ リ ジ ナ ル 総 合 効 率	今 回 測 定 し た 総 合 効 率	更 新 後 の 機 器 想 定 効 率	更 新 後 の 想 定 総 合 効 率	現 状 の モ ー タ 入 力	更 新 後 の モ ー タ 入 力	モ ー タ 入 力 の 改 善	ポン プ 稼 働 率	現 在 年 間 電 力 量	更 新 後 年 間 電 力 量
		m ³ /m	m	-	%	%	%	%	%	kW	kW	kW	-	kWH	kWH
IPS	1	43.8	30	ポンプ	85.0	81.9	54.3	80.0	77.1	394	278	117	0.688	2,376,379	1,673,819
				モータ	96.4			96.4							
	2	43.8	30	ポンプ	85.0	81.9	63.1	80.0	77.1	339	278	62	0.688	2,046,044	1,673,819
				モータ	96.4			96.4							
	3	43.8	30	ポンプ	85.0	81.9	73.6	80.0	77.1	291	278	13	0.688	1,753,395	1,673,819
				モータ	96.4			96.4							
	4	43.8	30	ポンプ	85.0	81.9	65.9	-	65.9	325	325	0	0.688	1,958,800	1,958,800
				モータ	96.4			96.4							
PS1	1	43.5	300	ポンプ	83.0	79.9	74.7	80.0	77.0	2,849	2,761	88	0.688	17,171,280	16,640,807
				モータ	96.3			96.3							
	2	43.5	300	ポンプ	83.0	79.9	77.6	80.6	77.6	2,741	2,741	0	0.688	16,516,930	16,516,930
				モータ	96.3			96.3							
	3	43.5	300	ポンプ	83.0	79.9	74.7	80.0	77.0	2,849	2,761	88	0.688	17,171,280	16,640,807
				モータ	96.3			96.3							
	4	43.5	300	ポンプ	83.0	79.9	76.5	80.0	77.0	2,781	2,761	20	0.688	16,760,463	16,640,807
				モータ	96.3			96.3							
PS2	1	43.5	300	ポンプ	83.5	80.4	77.8	80.0	77.0	2,735	2,761	-26	0.688	16,484,606	16,640,807
				モータ	96.3			96.3							
	2	43.5	300	ポンプ	83.5	80.4	78.9	-	78.9	2,696	2,696	0	0.688	16,248,514	16,248,514
				モータ	96.3			96.3							
	3	43.5	300	ポンプ	83.5	80.4	76.8	-	76.8	2,771	2,771	0	0.688	16,701,508	16,701,508
				モータ	96.3			96.3							
	4	43.5	300	ポンプ	83.5	80.4	76.7	80.0	77.0	2,772	2,761	11	0.688	16,708,038	16,640,807
				モータ	96.3			96.3							
PS3	1	43.5	308	ポンプ	84.0	81.1	75.9	80.0	77.3	2,876	2,826	50	0.688	17,332,034	17,031,504
				モータ	96.6			96.6							
	2	43.5	308	ポンプ	84.0	81.1	72.8	80.0	77.3	2,999	2,826	173	0.688	18,072,150	17,031,504
				モータ	96.6			96.6							
	3	43.5	308	ポンプ	84.0	81.1	74.6	80.0	77.3	2,926	2,826	100	0.688	17,633,905	17,031,504
				モータ	96.6			96.6							
	4	43.5	308	ポンプ	84.0	81.1	75.6	80.0	77.3	2,891	2,826	65	0.688	17,421,504	17,031,504
				モータ	96.6			96.6							
PS4	1	43.5	314	ポンプ	84.0	81.1	73.4	80.0	77.2	3,032	2,884	148	0.688	18,273,659	17,381,280
				モータ	96.5			96.5							
	2	43.5	314	ポンプ	84.0	81.1	70.8	-	70.8	3,143	3,143	0	0.688	18,944,442	18,944,442
				モータ	96.5			96.5							
	3	43.5	314	ポンプ	84.0	81.1	67.9	80.0	77.2	3,281	2,884	397	0.688	19,773,575	17,381,280
				モータ	96.5			96.5							
	4	43.5	314	ポンプ	84.0	81.1	74.5	80.0	77.2	2,987	2,884	103	0.688	18,003,956	17,381,280
				モータ	96.5			96.5							
PS5	1	42.9	195	ポンプ	85.7	82.7	78.8	81.0	78.2	1,730	1,744	-14	0.688	10,426,430	10,513,800
				モータ	96.5			96.5							
	2	42.9	195	ポンプ	85.7	82.7	60.7	81.0	78.2	2,248	1,744	504	0.688	13,550,061	10,513,800
				モータ	96.5			96.5							
	3	42.9	195	ポンプ	85.7	82.7	77.1	81.0	78.2	1,770	1,744	25	0.688	10,665,947	10,513,800
				モータ	96.5			96.5							
	4	42.9	195	ポンプ	85.7	82.7	77.2	85.3	82.3	1,766	1,657	110	0.688	10,645,223	9,983,796
				モータ	96.5			96.5							
計														332,640,122	320,390,741

水量1m3あたりの電力消費量 (kWh/m3)

基準値： 332,640,122 (kWh)/ 65,200,000(m³) = 5.10 (kWh/m3)

目標値： 320,390,741 (kWh)/ 65,200,000(m3) = 4.91 (kWh/m3)

写真集

[薬品注入施設機材]

(1) 取水ポンプ場（IPS）

1) 二酸化塩素生成装置

N01 発生装置（450kg/時）	N02 発生装置(450kg/時)	N03. 発生装置（650kg/時）	中央監視制御盤

2) 亜塩素酸ナトリウム溶解装置

全 景（手前は貯留槽）	攪拌溶解槽	亜塩素酸ナトリウム投入

3) 塩素ガス供給装置

塩素コンテナ貯蔵室	真空圧力調整弁	中和装置

4) 過マンガン酸カリウム溶解・供給装置

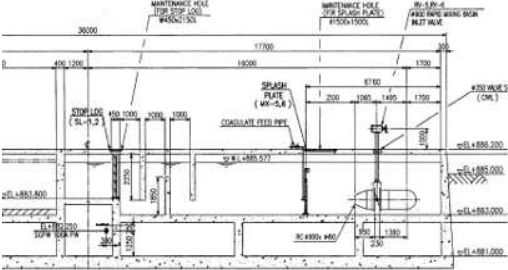
		
全 景	定量供給溶解装置	水流式溶解装置
		
送液ポンプ（正規）	送液ポンプ（修理中）	薬液注入点（配管ピット内）

(2) ザイ浄水場

1) 粉末活性炭供給設備

			
粉末活性炭注入棟	活性炭注入機 (稼働)	活性炭注入機 (故障)	制御盤
			
活性炭スラリー投入口	原水調整槽導流膜	スラリー移送管	移送管内スケール

2) 急速攪拌設備

		
1 系急速攪拌池	1 系緩速攪拌機	1 系駆動装置
		
2 系急速攪拌池断面		2 系急速攪拌槽

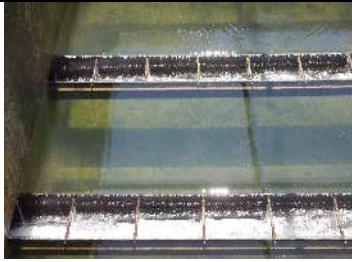
3) 緩速攪拌設備

		
1 系緩速攪拌池	1 系緩速攪拌機	1 系緩速攪拌機駆動装置
		
2 系緩速攪拌設備	2 系緩速攪拌設備	2 系緩速攪拌設備

4) 沈殿池汚泥掻寄設備

		
1 系汚泥掻寄排出装置	1 系汚泥掻寄せ排出装置	1 系排泥ポンプ
		
2 系汚泥掻寄排出装置	2 系汚泥掻寄排出装置	2 系汚泥掻寄排出装置

5) 急速ろ過設備

		
1 系ろ過池全体図	1 系ろ過池内部	管廊
		
2 系ろ過池全体図	2 系空洗中	2 系逆洗中

6) ろ過池空洗用ブロワ設備-

		
空洗ブロワ (共用)	空洗ブロワ (1 系管廊内共用)	ブロワ操作盤

7) 逆洗用高架水槽設備

		
洗浄用高架水槽全景	上部補修箇所	下部補修箇所

8) 洗浄排水返送ポンプ設備

		
洗浄排水池全景	返送ポンプ遠景（両端：2系）	排水返送ポンプ

9) 洗浄水揚水ポンプ

		
1系揚水ポンプ（右：表洗ポンプ）	1系揚水ポンプ（手前2台）	1系揚水ポンプ
		
2系揚水ポンプ全景	2系揚水ポンプ	揚水ポンプ操作盤

10) 薬品注入設備

			
1系高分子希釈槽（1F）	1系高分子貯槽（BF）	1系高分子注入ポンプ	1系高分子注入ポンプ
			
1系硫酸第二鉄投入口（奥） 1系硫酸第一鉄投入口（前）	1系硫酸第二鉄（奥） 1系硫酸第一鉄（前）	硫酸第二鉄溶解装置 （増設）	硫酸第二鉄注入ポンプ （増設）

			
2系高分子希釈槽	2系高分子希釈攪拌機	2系高分子注入ポンプ	2系高分子ポンプ制御盤
			
2系硫酸第二鉄投入口	2系硫酸第二鉄溶解槽	2系注入ポンプ	2系硫酸第二鉄制御盤

11) 塩素注入設備

			
1 系注入機（建設時）	1 系注入機（裏面）	1 系塩素ポンベ室	中和装置（共通）
			
1 系注入機（改修時）	1 系気化器（改修時）	1 系制御盤（改修時）	1 系気化器（自己）
			
2 系注入機（3 台）	2 系気化器（2 台）	2 系制御盤	2 系ポンベ室

[電気設備]

PS 屋外受変電設備外観

			
IPS		PS1	
			
PS2		PS3	
			
PS4		PS5	

高圧電気設備外観

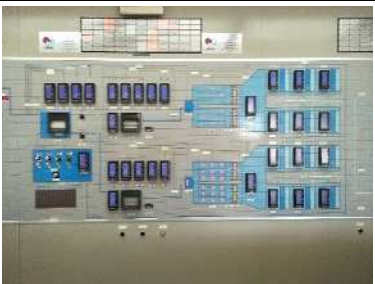
		
IPS	PS1~4	PS5

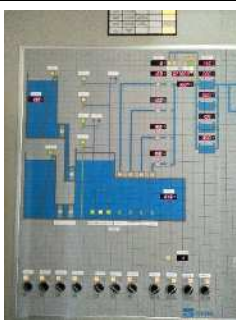
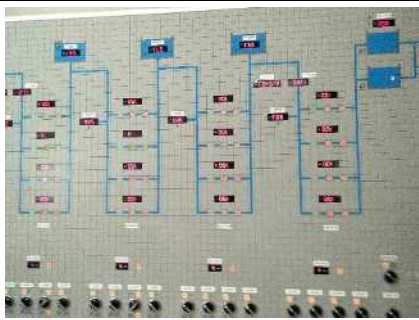
メンテナンス状況

		
日常点検記録	日常点検記録	絶縁抵抗測定

[監視制御設備]

ザイ浄水場監視制御システム外観

		
統合監視操作盤外観		

		
IPS 対応部分	PS 1～4 対応部分	浄水場対応部分

		
監視盤裏面外観	監視盤裏面 PLC	監視盤裏面 PLC

		
データロガー外観	表示装置	FA パソコン

ポンプ場監視制御システム外観

	
監視制御システム全景	

		
ポンプ監視操作盤	リレー盤・PLC 盤	テレメーター盤

ザイ給水システム改良計画

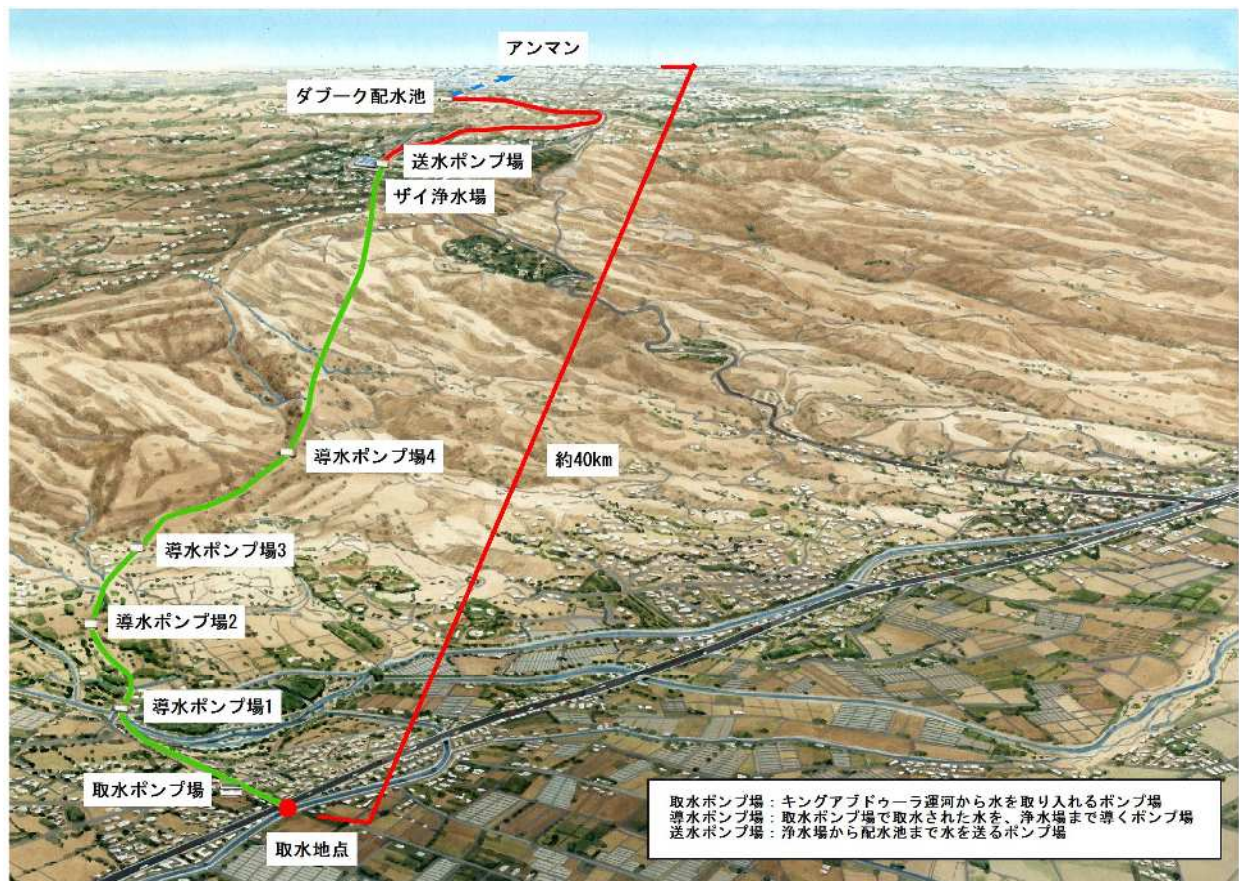
(ザイ給水システムにおけるポンプ設備の更新)

ザイ給水システム基本情報

プロジェクト概要	アンマン都市圏及びバルカ県への給水を支えるザイ給水システムにおいて、劣化した上水道設備及び機材を更新することで、アンマン都市圏への安定給水を図る。
工事期間	2021年6月から 2023年5月（予定）
送水量	72 百万 m ³ /年（2018）
浄水量	20 万 m ³ /日（2018）
ポンプ数	取水ポンプ 4 台、導水ポンプ 16 台（4 ポンプ場×各 4 台）、送水ポンプ 4 台
アンマン人口	約 430 万人(2018)

1. ザイ給水システムについて

ヨルダンの首都アンマンの年間降水量は、日本の年間降水量約 1,700mm に対し、約 400mm 以下しかありません。アンマンは約 430 万人を擁する大都市ですが、平均海拔 850m の丘陵地に位置しており、アンマン周辺には水源となる河川はなく、井戸の取水量も限られています。そのためアンマンから約 40km 離れた、海拔 0m 地帯にあるキングアブドゥーラ運河から取水し、大型・高性能のポンプを用いてアンマンに給水します。

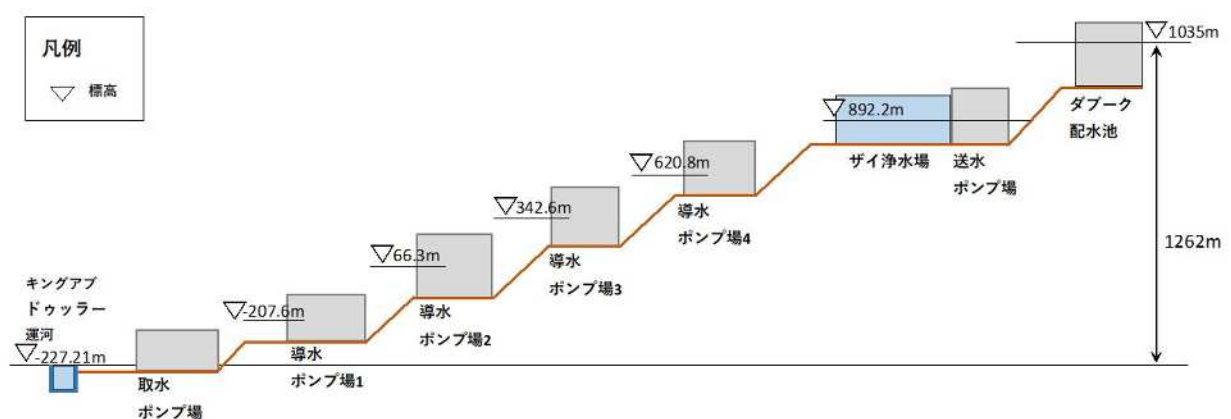


ザイ給水システム 全体俯瞰図

ザイ給水システムは 1985 年に構築された給水システムで、アンマンへの水供給量の約 56% を担っている重要なシステムです。本システムは取水地点から最終配水池まで距離約 25km、高低差約 1,260m を、取水ポンプ場、4 カ所の導水ポンプ場、送水ポンプ場の計 6 か所のポンプ場で中継し、浄水した水を配水池に送り出すシステムです。特に導水ポンプは各ポンプの揚程が約 300m と、非常に高いポンプ性能が要求されます。

一方、本システムは建設後 35 年が経過し、設備の老朽化による機能低下や、給水量及び水質の低下が問題になっており、特にポンプ効率の低下による電力量の増大が危急の課題になっています。

そのため、今回日本の無償資金協力事業により、ポンプ設備の更新が実施されています。



ザイ給水システム 高低差模式図

2. 更新するポンプ設備について

① 単段渦巻ポンプの採用

本プロジェクトで採用される導水ポンプは 1 台当たりのポンプ全揚程が約 300m あり、非常に高い揚程です。通常であれば、単段渦巻ポンプを採用した場合、1 枚の羽根車で高圧力を発生させる必要があることから、羽根車への負荷が過剰になってしまいます。そのため、このような揚程が高い場合には、多段渦巻ポンプを採用し、数枚の羽根車で発生させる圧力を分担し、羽根車への負荷を軽減します。しかし現在のポンプ場は大きさに制限があることから、全長が長い多段渦巻ポンプは設置出来ません。そのため本システムでは、特注設計による日本製単段渦巻ポンプを採用します。日本製単段渦巻ポンプはコンパクトな設計に加え、高い吸水性能、高効率、低騒音、高信頼性を特長としています。



導水ポンプ場外観



(参考) 設置予定単段渦巻ポンプ

② 摩耗・防食技術の適用

既存の導水ポンプの主要部品はステンレス鋳鋼が採用されていますが、極度の摩耗と腐食が見られます。摩耗の原因は原水に含まれる砂やシルトなどの粒子、腐食の原因は原水の塩化物イオン濃度が高いためであると考えられます。これらを改善するため、主要部品を高強度で高耐食性を特長とする二相ステンレス鋼に変更します。二相ステンレス鋼製ポンプを採用する事で、砂やシルトを含み、塩化物イオン濃度の高い原水に対して耐久性を向上させ、安定的な送水を可能にします。

③ 効率改善による電力費削減

現在のポンプ設備は老朽化し、ポンプ効率が低下しています。ポンプ設備（ポンプ・モータ）を更新することで、年間 1.54 百万 JOD[ヨルダンディナール]（＝約 2.4 億円）の電力費を低減できる見込みです。（ポンプ稼働率を 68.8%、電力費単価を 0.126 JOD/kWh、日本円・ヨルダンディナール交換レートを 153.36 円/JOD として計算しています。）

④ 温室効果ガス削減の効果、気候変動緩和策としての意義

本プロジェクトの実施により、ポンプの消費電力量が大幅に削減されることから、年間あたりの温室効果ガス（GHG）排出量は、本プロジェクトの完工後には、2019 年の実績値である二酸化炭素（CO2）換算値 191.97 百万 t/年から 185 百万 t/年以下に減少する見込みです。本プロジェクトは、温室効果ガスの排出を削減することで、気候変動緩和策としての高い意義を持っています。

Eng. Haitham Al-kilani 氏（Miyahuna 水道公社：生産部門長）コメント



ヨルダンでは世界で最も水資源が乏しい国の一つです。ヨルダンの人口の約 50%がアンマンに住んでおり、ザイ給水システムは、ヨルダンの主要かつ重要な飲用水源です。従ってザイ給水システムは効率的、継続的に稼働し続ける必要があるのです。

The Project for Improvement of the Zai Water Supply System

Replacement of Pump Equipment

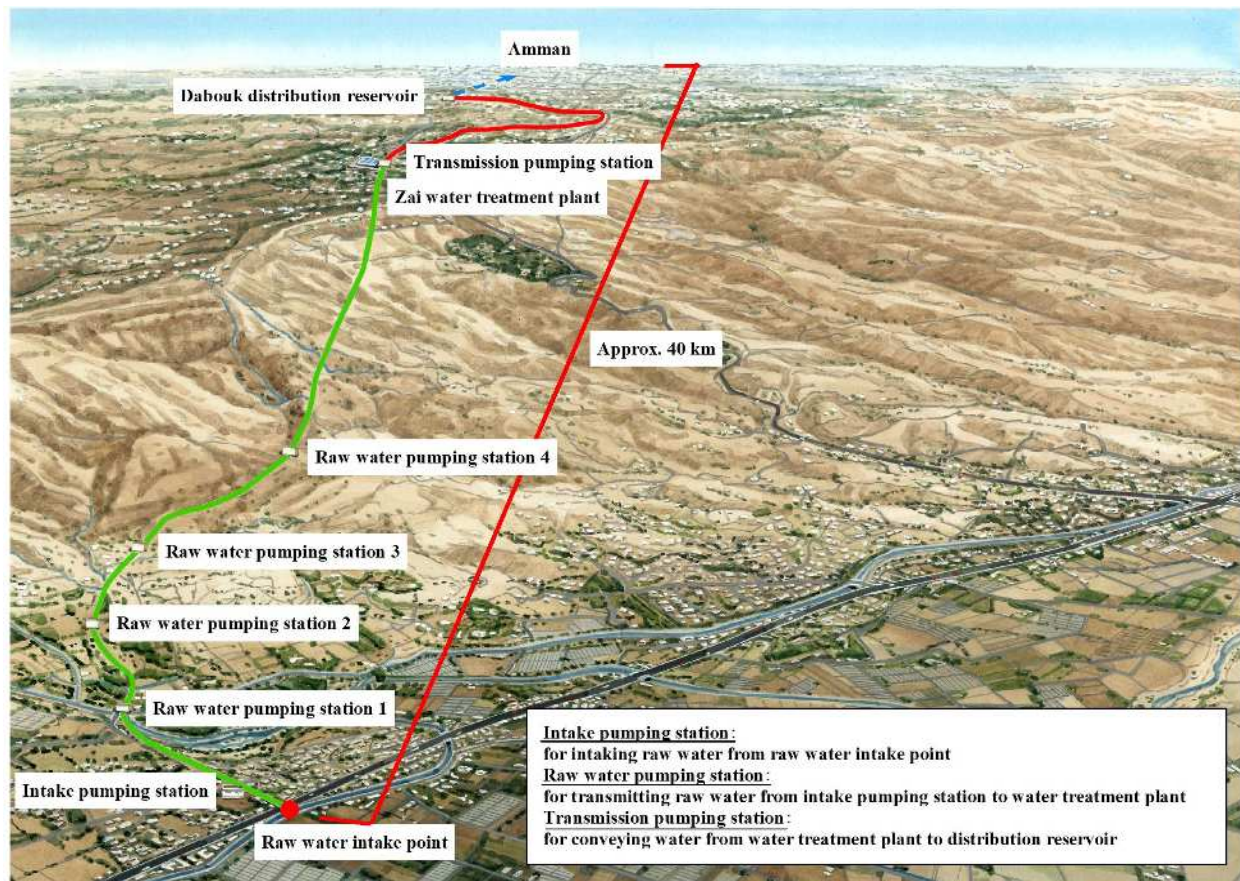
Basic Information of Zai Water Supply System and the Project for Improvement of the Zai Water Supply System

Project Outline	Zai Water Supply System provides water to Amman and Balqa governorates. This project aims to ensure a stable water supply to Amman by replacing deteriorated water supply equipment of the Zai Water Supply System.
Construction Period	June 2021 - May 2023 (Scheduled period)
Quantity of supplied water	72,000,000 m ³ /year (year 2018)
Daily average quantity of treated water	200,000 m ³ /day (year 2018)
Number of Pumps	Intake pump: 4 sets, Raw water pump: 16 sets (4 pumping stations x 4 pumps each), Transmission pump: 4 sets
Population in Amman	About 4.3 million people (year 2018)

1. Zai Water Supply System

. Amman, the capital city of Jordan, is a large city with a population of about 4.3 million, located on a hilly terrain with an average elevation of 850 meters above mean sea level. There are no rivers around Amman which could serve as a source of water to Amman, rainfall is very limited (less than 400 mm/year), and the quantity of water which could be withdrawn from the wells is limited.

For this reason, the raw water is taken from the King Abdullah Canal and treated at the Zai water treatment plant. The raw water intake point is located at about 40 km from Amman at an elevation of 227 m below mean sea level. The treated water from the Zai WTP is transmitted to Dabouk distribution reservoir for supply to Amman using high performance pumps.



Bird's-eye view of Zai Water Supply System

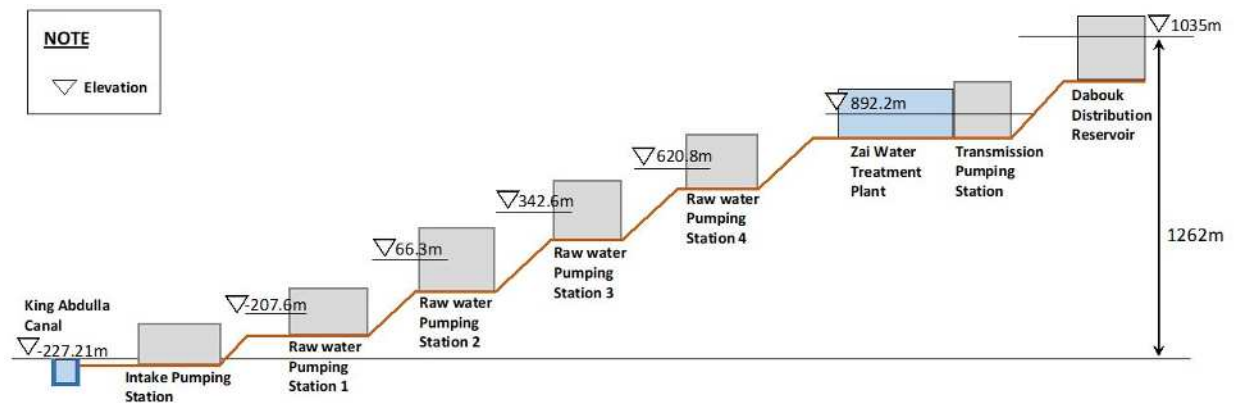
(Image source: Google earth)

The Zai Water Supply System was constructed in 1985, and currently covers about 56 % of Amman's water supply.

The distance from the intake point to Dabouk distribution reservoir is about 25 km, and water is relayed through six pumping stations, including one intake pumping station, four raw water pumping stations and one transmission pumping station before conveyed to Dabouk distribution reservoir with about 1,260 m of elevation difference..

In spite of its important function as a major source of water to national capital and need of highly efficient equipment to minimize power consumption, the same old system has been in operation for over 35 years. It has become a problem due to the deterioration of the system's performance and the decline in water supply quantity and quality. The increase in power consumption due to the decline in pump efficiency is an urgent issue.

For this reason, the pump equipment will be upgraded with Japan's grant aid.



Elevation Profile of Zai Water Supply System

2. Pump Equipment to be Upgraded

a) Adoption of single-stage centrifugal pump

The total head required for each pump used in this system is about 300 meters, which is an extremely high head. The multistage centrifugal pumps can generate high pressure with multiple stage impellers, which reduces the load on the individual impellers. But multi-stage centrifugal pumps are longer in length. Due to the limited size of building of the existing pumping stations, it is not possible to install the multi-stage centrifugal pumps. Therefore, a single stage centrifugal pump should be adopted in these pumping stations. However, to generate such a high pressure with a single stage impeller, the excessive load is generated on the impeller. For this countermeasure, custom-designed single-stage centrifugal pumps made in Japan will be adopted.

In addition to their compact design, the Japanese-made single-stage centrifugal pumps feature high water absorption performance, high efficiency, low noise and high reliability.



Raw water pumping station



Single-stage centrifugal pump

b) Application of wear and corrosion protection technology

The main parts of the existing raw water pumps are made of stainless-steel casting, and they are abnormally worn and corroded. It is considered that the cause of wear is particles (sand / silt) and the cause of corrosion is high chloride ion, in the raw water.

In order to improve these conditions, the main parts of the pump will be changed to duplex stainless-steel casting, which features high strength and high corrosion resistance. This will improve the durability of the pump against sand and silt, and high chloride ion concentration in the raw water, thus enabling stable performance of pumps, which results in stable water supply.

c) Reduction of power costs by improving efficiency

The current pumping equipment is overaged, and the efficiency of the pumps is declining. Replacement of the pumping equipment is estimated to reduce electricity costs by approximately 1.54 million JOD (=240 million yen) per year. (The calculation is based on a pump operating ratio of 68.8%, electricity unit cost of 0.126 JOD / kWh, and the exchange rate of 153.36 yen / JOD.)

d) Effect on greenhouse gas reduction and significance on climate change mitigation measures

The implementation of this project will significantly reduce the energy consumption of the pumps, which reduces greenhouse gas emission. The greenhouse gas emission is estimated to reduce from 191.97 Mt-CO₂/year (year 2019) to less than 185 Mt-CO₂/year by implementation of this project. This project also has high significance on a climate change mitigation measure by reducing greenhouse gas emissions.

Comment: Eng. Haitham Al-kilani (Miyahuna Water Company: Production Directorate)



Jordan is one of the poorest water resources countries in the world, and taking into consideration that about 50% of Jordan's population live in Amman, the treated water from Zai Water Treatment Plant is considered as one of the main and important drinking water sources in Jordan. Therefore, it should be kept running efficiently and producing the required water quality and quantity properly.

مشروع تحسين نظام إمدادات المياه في زي

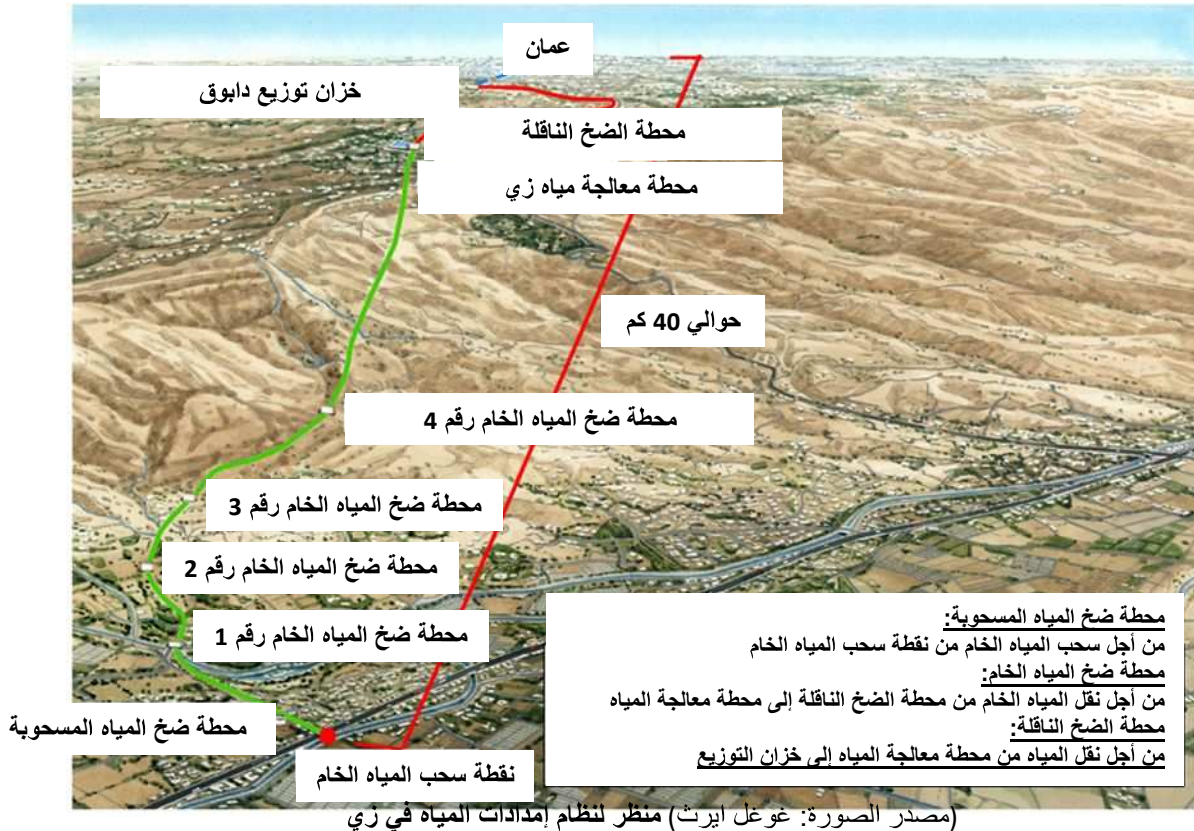
استبدال معدات المضخة

المعلومات الأساسية لنظام إمدادات المياه في زي ومشروع تحسين نظام إمدادات المياه في زي

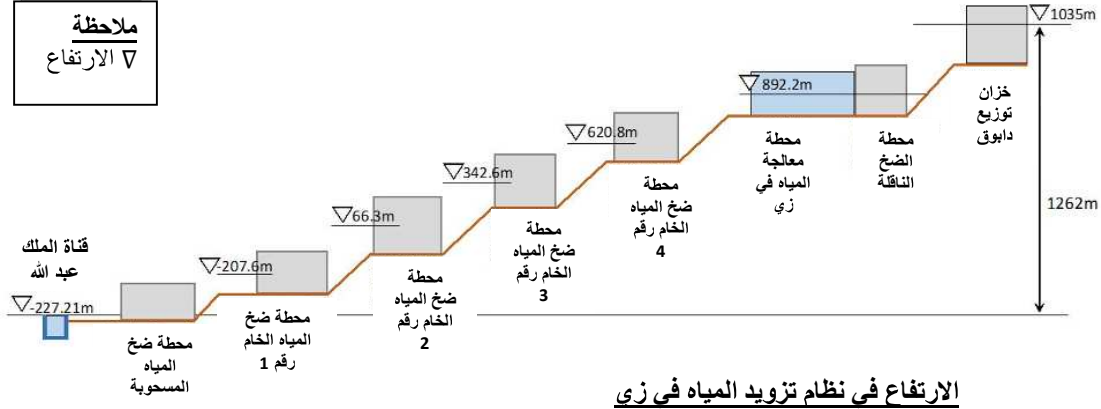
مشروع غير نشط	يقوم نظام إمدادات المياه في زي بتقديم المياه لمحافظة عمان والبلقاء. ويهدف هذا المشروع إلى ضمان إمدادات مياه مستقرة لعمان من خلال استبدال معدات إمدادات المياه التالفة من نظام إمدادات المياه في زي.
فترة الإنشاء	حزيران 2021 – أيار 2023 (الفترة المقررة)
كمية المياه المزودة	72,000,000 م ³ / سنة (لسنة 2018)
المتوسط اليومي لكمية المياه المعالجة	200,000 م ³ / يوم (لسنة 2018)
عدد المضخات	مضخة السحب: 4 مجموعات، مضخة الماء الخام: 16 مجموعة (4 محطات ضخ × 4 مضخات لكل منها)، مضخة النقل: 4 مجموعات
عدد السكان في عمان	حوالي 4.3 مليون شخص (سنة 2018)

1) نظام إمدادات المياه في زي

تعتبر العاصمة الأردنية عمان مدينة كبيرة يبلغ عدد سكانها حوالي 4.3 مليون نسمة وتقع على أرض جبلية يصل متوسط ارتفاعها إلى 850 متراً فوق معدل مستوى سطح البحر. ليس هناك أنهار حول عمان يمكن أن تشكل مصدراً لمياه عمان ويعتبر هطول الأمطار محدود للغاية (أقل من 400 ملم / سنة) كما تعتبر كمية المياه التي يمكن سحبها من الآبار محدودة. لهذا السبب يتم سحب المياه الخام من قناة الملك عبد الله ومعاملتها في محطة معالجة مياه زي. وتقع نقطة دخول المياه الخام على بعد حوالي 40 كم من عمان على ارتفاع 227 م تحت معدل مستوى سطح البحر. حيث يتم نقل المياه المعالجة من محطة معالجة مياه زي ونقلها إلى خزان توزيع دابوق من أجل توريدها إلى عمان باستخدام مضخات عالية الأداء.



تم بناء نظام إمدادات المياه في زي عام 1985 ويغطي حالياً حوالي 56% من إمدادات المياه في عمان. تبلغ المسافة من نقطة سحب المياه إلى خزان توزيع دابوق حوالي 25 كم ويتم نقل المياه من خلال ست محطات ضخ وتشمل محطة ضخ واحدة للمياه المسحوبة وأربع محطات لضخ المياه الخام ومحطة ضخ ناقلة واحدة قبل نقل المياه إلى خزان توزيع دابوق وبارتفاع حوالي 1260 م. على الرغم من وظيفته الهامة كما مصدر مياه رئيسي للمخزون الأساسي الوطني والحاجة إلى معدات عالية الكفاءة لتقليل استهلاك الطاقة فقد كان النظام القديم نفسه يعمل منذ أكثر من 35 عاماً مما أصبح مشكلة بسبب تلف أداء النظام وانخفاض كمية وجودة إمدادات المياه. وتشكل الزيادة في استهلاك الطاقة مشكلة ملحة بسبب انخفاض كفاءة المضخة. لهذا السبب سيتم تحديث معدات المضخات بمساعدة المنح اليابانية.



(2) معدات المضخة الواجب تحديثها

(أ) اعتماد مضخة طرد مركزي أحادية المرحلة

يبلغ إجمالي الرأس المطلوب لكل مضخة مستخدمة في هذا النظام حوالي 300 متر وهو رأس مرتفع جداً. ويمكن لمضخات الطرد المركزي متعددة المراحل توليد ضغط مرتفع باستخدام دافعات متعددة المراحل مما يقلل من الحمل على الدافعات الفردية. لكن تكون مضخات الطرد المركزي متعددة المراحل أطول. ولا يمكن تثبيت مضخات الطرد المركزي متعددة المراحل نظراً للحجم المحدود لبناء محطات الضخ الموجودة. لذلك يجب استخدام مضخة طرد مركزي أحادية المرحلة في محطات الضخ هذه. ومع ذلك يتم إنشاء الحمل الزائد على الدافعة لتوليد مثل هذا الضغط العالي باستخدام دافعة أحادية المرحلة. وسيتم في هذا الإجراء المضاد اعتماد مضخات طرد مركزي أحادية المرحلة مصممة خصيصاً ومصنوعة في اليابان.

تتميز مضخات الطرد المركزي اليابانية أحادية المرحلة بالإضافة إلى تصميمها المضغوط بأداء عالي لامتصاص الماء وكفاءة عالية وضوضاء منخفضة وموثوقية عالية.



مضخة طرد مركزي أحادية المرحلة



محطة ضخ المياه الخام

ب) تطبيق تكنولوجيا الحماية من التآكل والصدأ

تصنع الأجزاء الرئيسية لمضخات المياه الخام الحالية التي تتآكل وتصدأ بشكل غير طبيعي من صبة فولاذ مقاوم للصدأ. ويعتبر سبب التلف هو جسيمات (الرمل / الطمي) وسبب الصدأ هو أيون الكلوريد العالي في الماء الخام. ومن أجل تحسين هذه الظروف سيتم تغيير الأجزاء الرئيسية للمضخة إلى صبة مزودة من الفولاذ المقاوم للصدأ والذي يتميز بقوة ومقاومة عاليين للصدأ. سيؤدي ذلك إلى تحسين متانة المضخة ضد الرمل والطين وتركيز أيون الكلوريد العالي في الماء الخام وبالتالي تمكين أداء مستقر للمضخات مما يؤدي إلى استقرار إمدادات المياه.

ج) تخفيض تكاليف الطاقة من خلال تحسين الأداء

قد تقادمت معدات الضخ الحالية بشكل مفرط وتناقصت كفاءة المضخات. حيث يقدر استبدال معدات الضخ بتقليل تكاليف الكهرباء بحوالي 1.54 مليون دينار أردني (= 240 مليون ين) سنوياً. (يعتمد الحساب على تشغيل المضخة بنسبة 68.8% وتكلفة وحدة الكهرباء 0.126 دينار أردني / كيلووات × ساعة وسعر الصرف 153.36 ين / دينار أردني).

د) التأثير على تقليل الغازات الدفينة وأهميتها في إجراءات التخفيف من تغير المناخ

سوف يؤدي تنفيذ هذا المشروع إلى تقليل استهلاك طاقة المضخات بشكل كبير مما يقلل من انبعاث غازات الاحتباس الحراري. ومن خلال تنفيذ هذا المشروع يقدر تقليل انبعاث غازات الاحتباس الحراري من 191.97 طن متري من ثاني أكسيد الكربون / سنوياً (عام 2019) إلى أقل من 185 طن متري من ثاني أكسيد الكربون / سنوياً. ويتمتع هذا المشروع أيضاً بأهمية كبيرة على إجراء التخفيف من التغير في المناخ عن طريق تقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري.

تعليق: المهندس هيثم الكيلاني (شركة مياه مياها: مديرية الإنتاج)

يعد الأردن من أفقر دول العالم في الموارد المائية ومع الأخذ بعين الاعتبار أن حوالي 50% من سكان الأردن يعيشون في عمان تعتبر المياه المعالجة من محطة معالجة مياه زي واحدة من أهم مصادر مياه الشرب في الأردن. لذلك يجب الحفاظ على تشغيلها بكفاءة وإنتاج جودة المياه المطلوبة وكميتها بشكل صحيح.



