

インドネシア国  
樹脂管に特化した漏水探索器を使用した  
無収水削減対策及び配水管網維持管理の  
普及・実証事業  
業務完了報告書

平成 27 年 5 月

(2015 年)

独立行政法人

国際協力機構 (JICA)

株式会社グッドマン

国内
JR
15-030

**インドネシア国**  
**樹脂管に特化した漏水探索器を使用した**  
**無収水削減対策及び配水管網維持管理の**  
**普及・実証事業**  
**業務完了報告書**

平成 27 年 5 月

(2015 年)

独立行政法人

国際協力機構 (JICA)

株式会社グッドマン

# 目次

巻頭写真	i
略語表	iv
地図	v
図表番号	ix
案件概要	xii
要約	xiii
1. 事業の背景	
(1) インドネシア共和国における開発課題の現状及びニーズの確認	
①インドネシア共和国の政治・経済の概況	1
②インドネシア都市給水分野における開発課題	4
③インドネシア共和国の無収水削減対策における関連計画、政策 (外交政策含む) および法制度	5
④インドネシアの無収水削減対策における ODA 事業の 事例分析及び他ドナーの分析	6
(2) 普及・実証を図る製品・技術の概要	9
2. 普及・実証事業の概要	
(1) 事業の目的	19
(2) 期待される成果	19
(3) 事業の実施方法・作業工程	19
(4) 投入(要員、機材、相手側投入、その他)	24
(5) 事業実施体制	27
(6) 相手国実施機関の概要	27
3. 普及・実証事業の実績	
(1) 活動項目ごとの内容と成果	29
①国内作業(2013年11月～12月)	29
②現地作業:第1次現地調査(2014年1月13日～2014年2月9日)	29
③本邦受入活動(2014年5月19日～5月28日)	41
④現地作業:第2次現地調査(2014年6月1日～2014年6月28日)	45
⑤国内作業(2014年7月～8月)	69
⑥第3次現地調査:(2014年8月26日～2014年9月22日)	70
⑦第4次現地調査総括	83
⑧その他・セミナー関係報告	101

(2) 事業目的の達成状況	103
(3) 開発課題解決の観点から見た貢献	119
(4) 今後の課題と対応策	119
(5) 事業実施後の相手国実施機関の自立的な活動継続について	120
(6) 日本国内の地方経済・地域活性化への貢献	121

#### 4. 本事業実施後のビジネス展開計画

(1) 今後の対象国におけるビジネス展開の方針・予定	122
①マーケット分析	122
②ビジネス展開の仕組み	122
③想定されるビジネス展開の計画・スケジュール	123
④ビジネス展開可能性の評価	125
(2) 想定されるリスクと対応	125
(3) 普及・実証に関して検討した事業化およびその開発効果	126
(4) 本事業から得られた教訓と提言	126

#### 添付資料

添付資料① 2015年2月23日 PDAM Tirtanadi 最終報告会	X1
添付資料② 2014年2月26日 Pilot Project NRW PDAM Tirtanadi 発表資料	X9
添付資料③ 漏水調査報告書 (例)	X15
添付資料④ 漏水調査報告書	X15

巻頭写真



PDAM Tirtanadi 高架水槽  
(109周年式典)



各事業所長へデモンストレーション  
(2014年6月3日)



ハイドロフォン使用の漏水調査  
(2014年6月5日)



漏水調査機器の検品  
(2014年6月6日)



夜間最少流量計測時の水圧調査  
(Denai 地区 2014年1月27日)



夜間最少流量計測時の流入量確認調査  
(Denai 地区 2014年1月27日)



インドネシア水道協会との会議  
(2014年6月12日)



樹脂管用漏水探索・配管路探索器  
PVC ロケーターD305 による漏水調査  
(2014年6月9日)



PDAM Tirtanadi 職員による漏水調査  
(2014年6月9日)



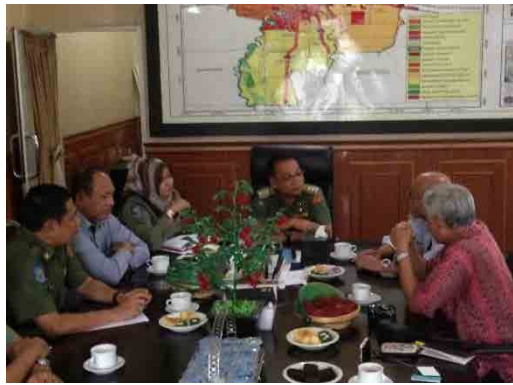
盗難された水道メーター  
(1カ月で200個盗難されるケースもある)



USAID セミナー  
NRW Reduction and How to Leakage Detection  
work and How to use of leakage detection  
equipment(2014年6月25日)



インドネシア水道協会・日本水道協会共催  
Capacity Building on water Supply for Young  
Leaders  
(2014年8月28日)



ビンジャイ市長表敬訪問  
Seminar of Water Leakage Management  
開催  
(2014年9月15日)



セミナー開催  
JICA 富原企画調査員挨拶  
(2014年9月8日)



D305 を使用した実証事業調査  
(2014年9月3日)



小型音聴式漏水探索器を使用した  
地下漏水調査研修  
(2014年9月15日)



DELI TUA 地区で検出された配水管漏水箇所  
(2014年9月8日)



給水管からの漏水  
(2014年9月16日)

## 略語表

略語	英語表記	日本語表記
ADB	Asian Development Bank	アジア開発銀行
AusAID	Australian Agency for International Development	豪州国際開発庁
BPS	BADAN PUSAT STATISTIK	インドネシア統計局
DMA	District Metered Area	水道メーター給水区域(水道メーターで給水量を測定・管理するために区切られた給水区域)
GDP	Gross Domestic Product	国内総生産
GoI	Government of Indonesia	インドネシア政府
IWA	International Water Association	国際水協会
LCC	Life Cycle Cost	製品や構造物を取得・使用するために必要な費用の総額
MNF	Minimum Night Flow	夜間最少流量(水を使用していない深夜に対象給水区域に流入する水量で一番少ない水量を漏水量とする測定法)
NRW	Non-Revenue Water	無収水
OJT	On the Job Training	職場内訓練
PDAM Tirtanadi	The Tirtanadi Regional Government Water Company	ティルタナディ北スマトラ州水道公社
PPP	Public-Private Partnership	官民連携(民間事業者の資金やノウハウを活用して社会資本を整備し、公共サービスの充実を進めていく手法)
PVC	Polyvinyl Chloride	ポリ塩化ビニル
USAID	United States Agency for International Development	米国国際開発庁
WB	World Bank	世界銀行



地図



図 i メダン市位置図(出典：<http://www.sekaichizu.jp/>)

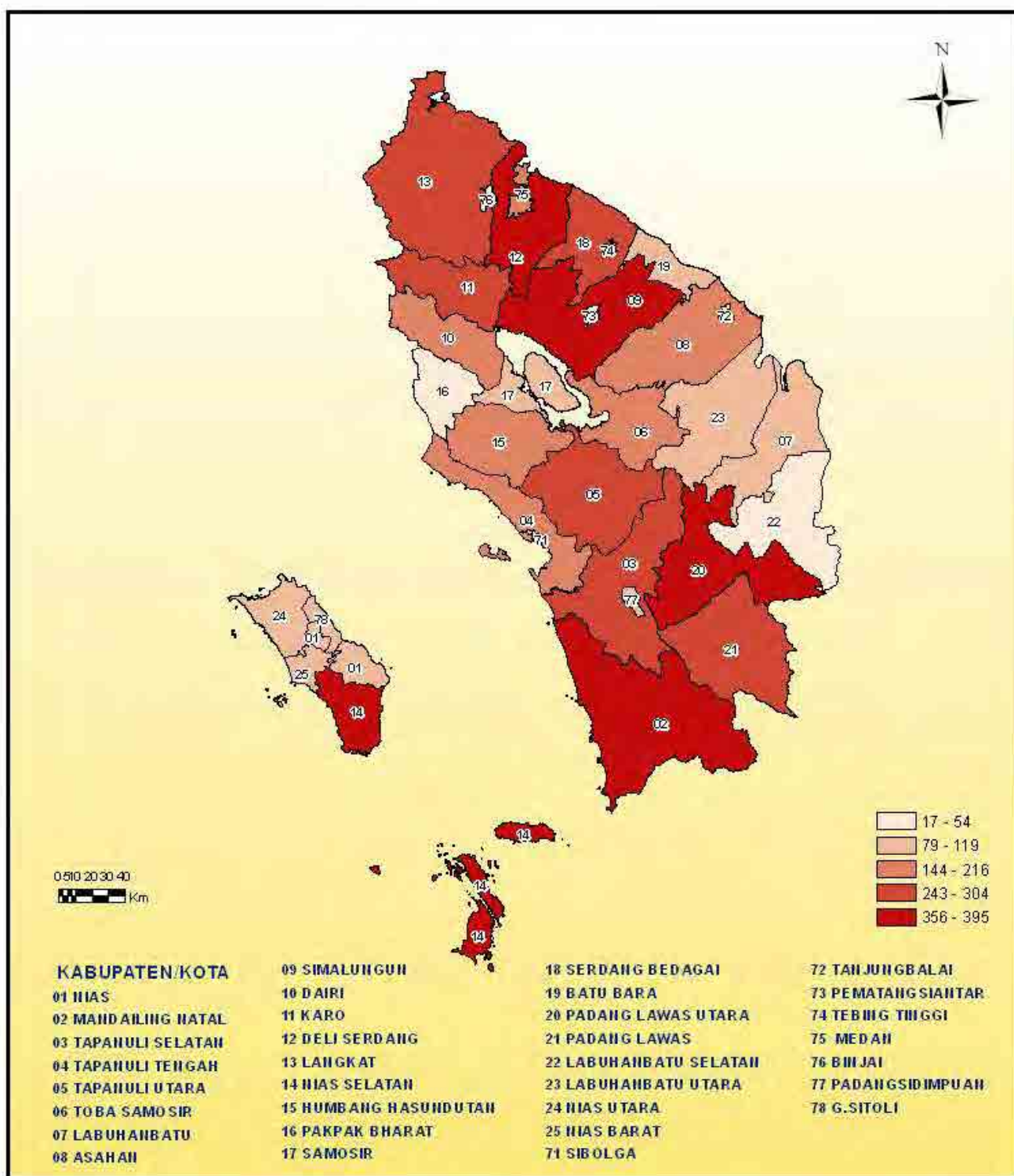
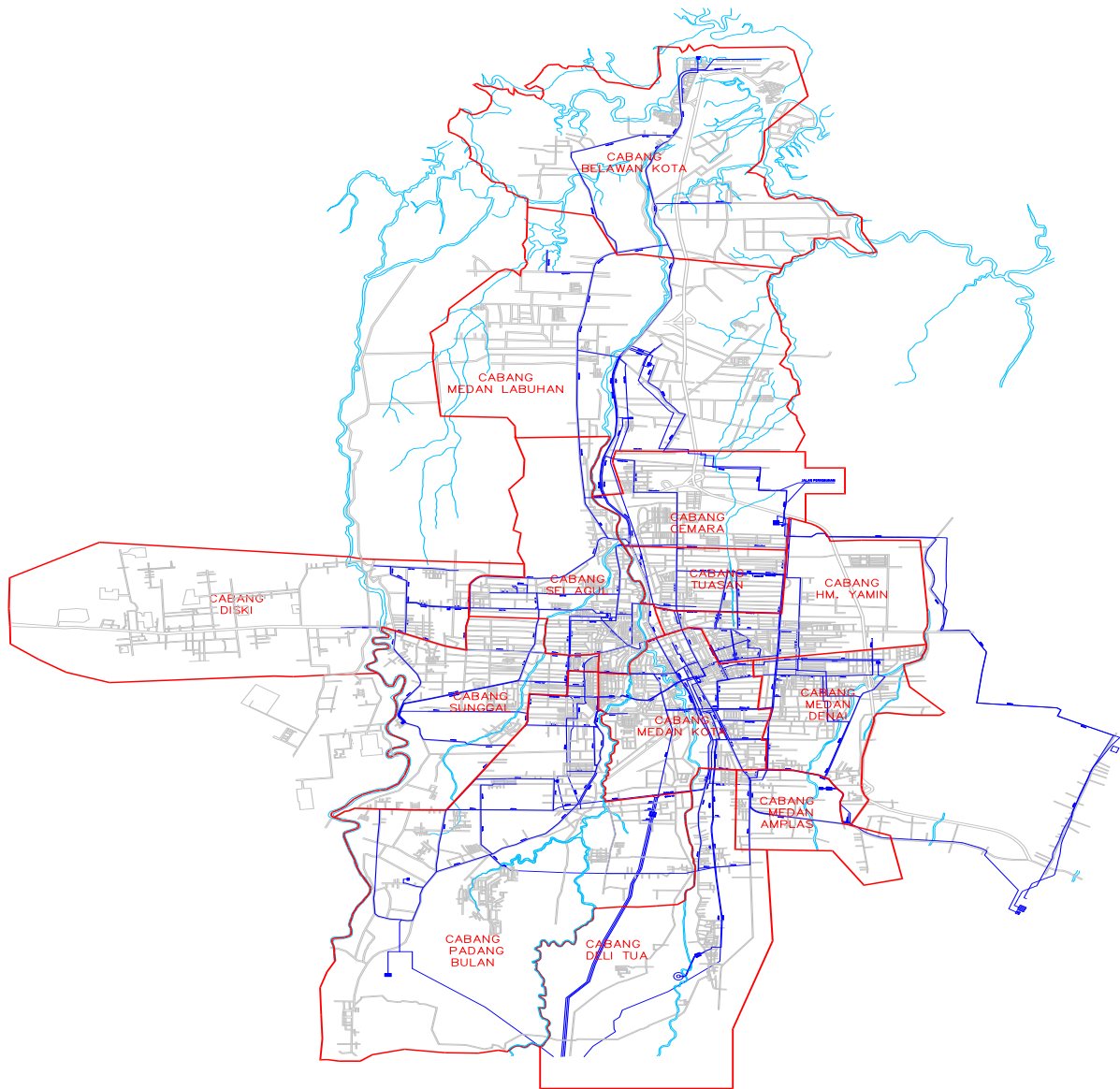


図 ii 北スマトラ州行政区図(市・村落数)  
(出典BPS-Statistics of Sumatera Utara Province)



図 iii PDAM Tirtanadi とその共同経営地域

(出典 : PDAM Tirtanadi 「Making Water Flow Fostering Good Things in Life」 )



図iv メダン市配水管網図  
 (出典：PDAM Tirtanadi)

## 図表番号

図 i	メダン市位置図(出典： <a href="http://www.sekaichizu.jp/">http://www.sekaichizu.jp/</a> )	v
図 ii	北スマトラ州行政区図(市・村落数)	vi
図 iii	PDAM TirtanadiI とその共同経営地域	vii
図 iv	メダン市配水管網図	viii
図 1-1	メダン市各地区	3
図 1-2	PVC ロケーターD305	9
図 1-3	D305 漏水探索概念図	9
図 1-4	小型音聴式漏水探索	10
図 1-5	音聴棒 LSP-1.5	10
図 1-6	小型軽量漏水探索機	11
図 1-7	アナログ式漏水探知機 HG-10A	11
図 1-8	アクアスキャン 610	13
図 1-9	相関式漏水探知機 LC-2500	13
図 1-10	AS610 相関式漏水探索器の原理図	15
図 1-11	水素式高性能漏水探索器バリオテック 460	16
図 1-12	トレーサーガス式漏洩探知機 9012 XPS System	16
図 1-13	超音波流量計 F601	17
図 1-14	高精度デジタル圧力計	18
図 2-1	作業工程計画	23
図 2-2	実施体制図	27
図 2-3	PDAM Tirtanadi 組織図	28
図 3-1	Comp Menteng 地区ステップテスト結果	32
図 3-2	Comp Menteng 地区配水区域位置図	32
図 3-3	Comp Putri Deli 地区ステップテスト結果	33
図 3-4	Comp PutriDeli 地区配水区域(Section)位置図	33
図 3-5	D305 で絞り込みポケットフォンで漏水地点を検出	34
図 3-6	Amplas 地区の水圧調査(0.08MPa)	35
図 3-7	口径 3 インチ PVC 管ソケット部からの漏水	35
図 3-8	Amplas 支所 Comp Riviera 地区：DMA 及び配水区域位置図	36
図 3-9	Medan Denai 支所 Comp Menteng 地区：DMA 及び配水区域位置図	37
図 3-10	Sunggal 支所 Comp Graha Sunggal 地区：DMA 及び配水区域位置	38

図 3-11	Delitua 支所 Comp PutriDeli 地区漏水位置図	39
図 3-12	Medan Kota 支所 Comp Maribu 地区漏水位置図	40
図 3-13	地上漏水調査(小型音聴式漏水探索・浅い埋設管での漏水)	49
図 3-14	地下漏水調査(ハイドロフォン・AS610 センサー・AS610 相関器・D305 による調査)	50
図 3-15	Cemara Hijau の漏水	50
図 3-16	Cemara Hijau 地区	51
図 3-17	Cemara 支社 Cemara Asri 地区	52
図 3-18	Diski 支社 Padang Hijau 地区	54
図 3-19	Bukit Johor Mas 地区, 給水管からの漏水	55
図 3-20	Padan Bulan 支社 Bukit Johor Mas 地区	55
図 3-21	Tuasan 支社 Komplek Vetpur 地区 調査	57
図 3-22	Diski 支社 Bumi Asri DMA 地区	58
図 3-23	Medan Labuhan 支部 Kpum 地区、メーター継手部からの漏水	59
図 3-24	Medan Labuhan 支部 Kpum 地区	60
図 3-25	Belawan 支社 Kampung Nelayan 地区	61
図 3-26	Belawan 支社 Kampung Nelayan 地区	62
図 3-27	Medan Kota 支社	64
図 3-28	Management Water Supply	65
図 3-29	Medan Kota 支社 3 区域	66
図 3-30	残留塩素測定状況	67
図 3-31	「Air Minum」 JICA Start New Survey Scheme for NRW Reduction	69
図 3-32	Pukat1 地区漏水検出	72
図 3-33	M.Yamin 支所 Pukat1 地区 漏水調査及び漏水地点	73
図 3-34	AS610 の宅内給水設備への設置	74
図 3-35	Amir Hamzah 地区小型軽量漏水探索による漏水調査	74
図 3-36	Sei Agul 支社 Amir Hamzah 地区	74
図 3-37	Tutup Nati 地区漏水現場	75
図 3-38	Deli Tua Bersaudara 地区 漏水調査及び漏水地点	76
図 3-39	Deli Tua 支所 Bersaudara 地区 漏水状況	77
図 3-40	Bogor 地区 D305 による調査	78
図 3-41	Bogor 地区 AS610 センサー設置	78
図 3-42	Medan Kota 支所 Bogor 地区 漏水調査及び漏水地点	78
図 3-43	Sunggal 支社 Tasbih 地区	79

図 3-44	Pdan Bulan 支社 Citra Garden 地区	81
図 3-45	Villa Peruma 地区低く配線された高電圧線	87
図 3-46	Villa Peruma 地区 調査	87
図 3-47	Amplas 支社 Villa Perma 地区 漏水調査及び漏水地点	88
図 3-48	Waikiki 地区 AS610+D305 設置状況	88
図 3-49	Waikiki 地区 音聴棒を利用して確実に接地	88
図 3-50	Sunggal 支社 Komp Waikiki 地区 漏水調査及び漏水地点	89
図 3-51	Waikiki 地区 D305 による配水管調査	89
図 3-52	Waikiki 地区 ST04 による給水管漏水調査	89
図 3-53	Peruma BSD 地区	90
図 3-54	Deli Tua Bersaudara 地区 漏水調査及び漏水地点	90
図 3-55	Bagan Deli 地区(左)配水管漏水箇所(右) AS610 及び D305 設置	91
図 3-56	Bagan Deli 地区 夜間時調査	92
図 3-57	Bagan Deli 地区 夜間時調査 エリア流入管における AS610 漏水調査	92
図 3-58	Belawan 支所 Bagan Deli 地区 漏水調査及び漏水地点	92
図 3-59	Sicanang 地区 AS610 設置	93
図 3-60	Sicanang 地区 水圧計設置	93
図 3-61	Sicanang 地区 (左)AS610 設置 (中央)仕切弁 (右)地下漏水	93
図 3-62	Belawan 支社 Sicanang 地区	94
図 3-63	Komp Minimalis 地区 小型音聴式漏水探索機 ST04	95
図 3-64	Komp Minimalis 地区 検出された違法接続管	95
図 3-65	Labuhan 支社 Komp Minimalis 地区	95
図 3-66	バリオテック 460(左)機材一式 (中央)ガス管を蛇口に接続 (右)職員への指導	97
図 3-67	バリオテック 460 (左)漏水確認調査 (中央)検出数値 160 (右)台所にて検出	97
図 3-68	Tiritanadi 本局内モスクでのトレーサーガス式漏水調査	98
図 3-69	パーマー社製相関式漏水探索機	104
図 3-70	D305 の探索原理	109
図 3-71	AS610+D305 +ポケットフォンを併用した漏水調査	110
図 3-72	AS610 バルブ濁流の波形	110
図 3-73	D305・AS610 音聴式漏水探索器を併用した漏水調査イメージ	111
図 3-74	メダン市の漏水管理図	117
図 3-75	配管修理後：斜めに接続された管	120

表 1-1	インドネシア GDP 推移 2004—2013 年	2
表 1-2	メダン市人口推移	4
表 1-3	メダン市収入	4
表 1-4	メダン市及び周辺地域の水供給量・収水量・無収水量の推移	5
表 1-5	給水等の分野における近年の対インドネシア協力案件一覧	7
表 2-1	日本人調査チーム	25
表 2-2	投入機材	26
表 3-1	第 1 次現地調査日程	29
表 3-2	パイロット地区	30
表 3-3	漏水調査前の確認事項一覧	30
表 3-4	漏水発見箇所数	35
表 3-5	Amplas 支所 Comp Rivier 地区漏水調査結果	36
表 3-6	Amplas 支所 Comp Rivier 地区流入量・使用水量・無収水率の推移	36
表 3-7	Medan Denai 支所 Comp Menteng 地区漏水調査結果	37
表 3-8	Medan Denai 支所 Comp Menteng 地区流入量・使用水量・無収水率の推移	38
表 3-9	Delitua 支所 Comp PutriDeli 地区漏水調査結果	39
表 3-10	Delitua 支所 Comp PutriDeli 地区流入量・使用水量・無収水率の推移	39
表 3-11	Medan Kota 支所 Comp Maribu 地区漏水調査結果	40
表 3-12	Medan Kota 支所 Comp Maribu 地区流入量・使用水量・無収水率の推移	40
表 3-13	本邦受入活動 PDAM Tirtanadi 参加者	41
表 3-14	本邦受入活動カリキュラム一覧	42
表 3-15	第 2 回漏水調査日程	45
表 3-16	漏水調査機器一覧表	47
表 3-17	第 2 回漏水調査パイロット地区	48
表 3-18	漏水調査内容	48
表 3-19	Cemara Hijau 地区調査概要	51
表 3-20	Cemara Hijau 地区漏水量の計測	51
表 3-21	Cemara Hijau 地区流入量・使用水量・無収水率の推移	52
表 3-22	Cemara Asri 地区調査概要	52
表 3-23	Cemara Asri 地区漏水量の計測	53
表 3-24	Cemara Asri 地区流入量・使用水量・無収水率の推移	53



表 3-25	Padang Hijau 地区調査概要	53
表 3-26	Padang Hijau 地区漏水量の計測	54
表 3-27	Padang Hijau 地区流入量・使用水量・無収水率の推移	54
表 3-28	Padan Bulan 支社 Bukit Johor Mas 地区調査概要	55
表 3-29	Padan Bulan 支社 Bukit Johor Mas 地区漏水量の計測	56
表 3-30	Padan Bulan 支社 Bukit Johor Mas 地区流入量・使用水量・無収水率の推移	56
表 3-31	Tuasan 地区 調査概要	57
表 3-32	Tuasan 支社 Komplek Vetpur 地区 漏水量の計測	57
表 3-33	Tuasan 支社 Komplek Vetpur 地区 流入量・使用水量・無収水率の推移	58
表 3-34	Bumi Asri 地区 調査概要	58
表 3-35	Diski Bumi Asri DMA 地区漏水量の計測	59
表 3-36	Diski 支社 Bumi Asri 地区 流入量・使用水量・無収水率の推移	59
表 3-37	Labuhan Kpum 地区 調査概要	60
表 3-38	Medan Labuhan 支社 Kpum 地区 漏水量の計測	60
表 3-39	Medan Labuhan 支社 Kpum 地区 流入量・使用水量・無収水率の推移	61
表 3-40	Kampung Nelayan 地区 調査概要	62
表 3-41	Belawan 支社 Kampung Nelayan 地区 漏水量の計測	63
表 3-42	Belawan 支社 Kampung Nelayan 地区 流入量・使用水量・無収水率の推移	64
表 3-43	Medan Kota 支社 調査概要	65
表 3-44	Medan Kota 支社 漏水量の計測	66
表 3-45	第 2 回漏水調査結果	69
表 3-46	第 3 回漏水調査日程	70
表 3-47	第 3 回 DMA 地区選定結果の水道情報	71
表 3-48	漏水調査内容	72
表 3-49	M.Yamin 支社 Pukat 地区漏水量の計測	73
表 3-50	M.Yamin 支社 Pukat 地区流入量・使用水量・無収水率の推移	74
表 3-51	Sei Agul 支社 Amir Hamzah 地区 漏水量の計測	75
表 3-52	Sei Agul 支社 Amir Hamzah 地区流入量・使用水量・無収水率の推移	75
表 3-53	Deli Tua 支所 Bersaudara 地区 漏水量の計測	76
表 3-54	Deli Tua 支所 Bersaudara 地区流入量・使用水量・無収水率の推移	76
表 3-55	Medan 支所 Kota Bogor 地区漏水量の計測	78
表 3-56	Medan 支所 Kota Bogor 地区流入量・使用水量・無収水率の推移	79

表 3-57	Sunggal 支所 Tasbih 地区 漏水量の計測	80
表 3-58	Sunggal 支所 Tasbih 地区流入量・使用水量・無収水率の推移	80
表 3-59	Pdan Bulan 支社 Citra Garden 地区の漏水量の計測	81
表 3-60	Pdan Bulan 支社 Citra Garden 地区流入量・使用水量・無収水率の推移	81
表 3-61	第 3 回漏水調査で実施した事業結果	82
表 3-62	第 4 回漏水調査日程	83
表 3-63	第 4 回漏水調査パイロット地区	85
表 3-64	漏水調査内容	86
表 3-65	Sunggal 支社 Komp Waikiki 地区漏水量の計測	89
表 3-66	Deli Tua 支社 PeruBSD 地区漏水量の計測	91
表 3-67	Belawan 支所 Bagan Deli 地区漏水調査及び漏水地点	93
表 3-68	Belawan 支所 Sicanang 地区漏水量の計測	94
表 3-69	Labuhan 支社 Komp Minimalis 地区の漏水量の計測	96
表 3-70	第 4 回漏水調査結果	99
表 3-71	各調査状況に対する対応結果まとめ	100
表 3-72	セミナー等の内容とその成果	101
表 3-73	IWA (International Water Association) Water balance	104
表 3-74	第 1 回漏水調査地域の漏水量と無収水率削減幅	104
表 3-75	第 2 回漏水調査地域の漏水量と無収水率削減幅	105
表 3-76	第 3 回漏水調査地域の漏水量と無収水率削減幅	106
表 3-77	全調査地域の漏水検出数及び検出漏水量	107
表 3-78	全調査地域の検出漏水量	107
表 3-79	漏水調査機材の評価(高い 5～低い 1)	112
表 3-80	メンテナンス問合せ先	121

インドネシア国樹脂管に特化した漏水探索器を使用した無収水削減対策及び配水管網維持管理の普及・実証事業

企業・C/P概要

- 提案企業: 株式会社グッドマン
- C/P機関: インドネシア国北スマトラ州水道公社 (PDAM Tirtanadi)
- 事業実施地: インドネシア国メダン市
- 期間: 2013年11月～2015年5月



● PDAM Tirtanadiの課題 ●

適合

● 提案機器と技術 ●

- 安全な水の確保: 漏水率が依然として高く、管内の水圧が低いと周辺物質を引き込み水道水が汚染されている。
- 無収水削減: 無収水は経済的損失を増大させ、道路陥没の原因にもなる。
- 漏水調査機器: すでに所有している機器はあるが、配管はPVC管主体で漏水音が伝わりにくいため検出が難しい。

- PVC管に特化した樹脂管用漏水探索・配管路探索機 PVCロケータ-D305の有効性を実証
- 性能の高い漏水調査機器をそれぞれの特性と様々な環境に合わせて複合的に活用し、効果的な漏水調査方法を検証
- 漏水調査と並行して、配管網維持管理・老朽管更新計画といった無収水削減対策のノウハウを技術移転

事業活動実績

- 投入機材: ①樹脂管用漏水探索・配管路探索機PVCロケータ-D305 ②相関式漏水探索機アクアスキャン610+ハイドフォン ③小型軽量漏水探索機ポケットフォン ④小型音聴式漏水探索機ST04 ⑤水素式超高性能漏水探索機VT460 ⑥超音波流量計F601 ⑦高精度デジタル圧力計KDM30
- ステップテスト(各区域の漏水量把握)→漏水調査(地上漏水班・地下漏水班で実施)→早期修理→無収水率の推移確認



事業の成果と期待

- 漏水調査結果: 配水管38ヶ所(漏水量合計160,000ml/月) 給水管79ヶ所(漏水量合計13,000ml/月) ⇒ 合計173,000mlの無収水を削減
- 全DMA※無収水率の変化(第3次調査までの実績): 2014年1月(調査前)42% → 2014年10月(調査後)25% ⇒ 無収水率を約17%削減
- 水道料金は32円/ml、流出した無収水が市民に供給された場合 ⇒ 5,536,000円/月の収入に相当

課題

ビジネス展開

※DMA:水道メーター給水区域

- 商業地域などの配管網図面の整備・仕切弁の増設
- 現地対応による漏水調査機器の修理メンテナンスと技術サポート体制
- 漏水再発を防ぐための配管敷設・修繕技術の向上

- インドネシア水道協会を通じて各PDAMへ啓蒙活動を行う
- 日系現地法人商社へのアプローチ
- 現地活動拠点確立、漏水研修施設整備、漏水調査会社設立の実現

## 要 約

提案事業の概要	
案件名	樹脂管に特化した漏水探索器を使用した無収水削減対策及び配水管網維持管理の普及・実証事業
事業実施地	インドネシア国メダン市
相手国 政府関係機関	インドネシア国北スマトラ州水道公社(PDAM Tirtanadi)
事業実施期間	2013年11月～2015年5月
契約金額	65,518,200円(税込)
事業の目的	樹脂管用漏水探索器を使用した漏水調査の実施を通じ当該機器の有効性を実証するとともに、同機器使用の漏水調査手法等にかかる技術移転等の普及活動を通じ、水道事業体を念頭にインドネシア国内での展開策について検討する。
事業の実施方針	樹脂管に特化した D305 樹脂管用漏水探索器を使用した漏水調査を実施し、漏水調査結果を踏まえ、現地の状況に有効な漏水探索器及び漏水調査手法の実証・提案を行う。同漏水探索器を使用した漏水調査手法や配水管網維持管理にかかる技術移転を行うとともに、漏水調査結果等についてセミナー等で関係者と共有する等、同機器の普及に向けた活動を行う。
実績	<p>1. 実証・普及活動</p> <p>第1～4次現地調査を実施し、提案製品である漏水調査機器を活用した漏水調査を実施するとともに、発見・修理した漏水箇所による無収水削減への効果について検証した。</p> <p>その結果、これまでの漏水調査では発見できなかった漏水箇所を含め、117ヶ所の漏水箇所を検出でき、漏水量として約173,000 m<sup>3</sup>/月の節約となるなど、今回提案の漏水調査機器の有効性を実証することができた。また無収水率に関しては、漏水調査実施前後で41.82%（2014年1月）から24.45%（2014年10月）へ約17%の削減に貢献した。これは、対象地区の水道料金約32円/m<sup>3</sup>をベースに換算すると月あたり約5,536,000円相当になり、経済的なインパクトをもたらす成果となった。</p> <p>(1) 投入機材</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・樹脂管用漏水探索・配管路探索器 PVC ロケーターD305</li> <li>・相関式漏水探索器アクアスキャン 610(ハイドロフォン併用)</li> <li>・小型軽量漏水探索器ポケットフォン</li> <li>・水素式超高性能漏水探索器</li> <li>・小型音聴式漏水探索器 ステットホン 04</li> <li>・超音波流量計 Fluxus F601</li> <li>・高精度デジタル圧力計 KDM30</li> </ul>

(2) 相手国政府関係機関との協議状況

- ・インドネシア公共事業省：日本政府のインドネシア向け中小企業ノンプロジェクト無償資金協力に関し、予算計上された場合の機材活用及び普及方法等について協議。
- ・インドネシア公共事業省、PDAM Tirtanadi、インドネシア水道協会：第3セクターによる漏水調査会社の設立可能性について協議し、日本国内での契約方法等を紹介。インドネシアにおける関連情報を収集した。

(3) 本邦受入活動

PDAM Tirtanadi 職員を対象に、本邦にて提案製品の使用方法及び無収水率削減等について以下項目にかかる講義・実習等を実施。

(参加者：技術部長マギンダ・リトンガ氏、技術装置課長デルヴィアンドリ氏、無収水対策課長ホットマ・チュア・ハラハップ氏・メダン市給水管係長アーマッド・サマリ氏、セマラ市給水管係長アーマッドセントーサ・シレカ氏)

- ①樹脂管用漏水探索器及び同機器を使用した漏水調査手法の説明
- ②無収水削減計画、老朽管更新計画策定にかかる事例紹介(横浜市、ジャイブール市)
- ③管路研修施設での樹脂管用漏水探索器を使用した漏水調査実習
- ④配水管新設工事現場視察
- ⑤給水管・配水管維持管理にかかる説明・討議
- ⑥ドナー等による技術協力事例の紹介
- ⑦水道メーター維持管理にかかる事例紹介

(4) 実証活動実績(樹脂管用漏水探索器及び同機器を使用した漏水調査)

- ①第1次現地調査(2014年1月13日～2月9日)

<第1回漏水調査の実施>

【調査方法】

無収水率の高い地区及び漏水箇所が長い間不明な場所を中心にパイロット地区を選択。樹脂管漏水探索・配管探索器 D305、小型軽量漏水探索器ポケットフォン、水相関用ハイドロフォンを併用の相関式漏水探索器アクアスキャン 610 (各1台) を使用し、配水管・給水管の漏水調査を実施。

【調査対象地域】

Comp Riviera 地区・Comp Meteng 地区・Comp Graha Sunggal 地区  
Comp PutriDeli 地区・Comp Malibu 地区

【実施体制】

PDAM Tirtanadi 職員と日本人調査チームを中心に、漏水調査機器の取

扱いや特性について説明しながら漏水調査を実施。

**【漏水調査結果】**

地上漏水：配水管 1ヶ所 給水管 7ヶ所

地下漏水：配水管 5ヶ所 給水管 6ヶ所

②第2次現地調査(2014年6月1日～6月28日)

<第1回漏水調査結果検証>

第1回漏水調査対象地域の無収水率が、漏水調査前(2014年1月)時点32.11%から調査後(2014年5月)時点で17.58%に減少。

<第2回漏水調査の実施>

**【調査方法】**

地上漏水調査：小型軽量漏水探索器・小型音聴式漏水探索器・音聴棒(PDAM Tirtanadi 所有)を使用し、水道メーター周辺の給水管に直接接触することによる漏水調査を実施。

地下漏水調査：樹脂管用漏水探索器 D305 による配管路探索・配管長を計測し、ハイドロフォンを併用した相関式漏水探索器アクアスキャン 610 の水相関による漏水箇所の絞り込み、D305 及び小型軽量漏水探索器による漏水箇所の位置確認。

**【調査対象地域】**

Cemara Hijau 地区・Cemara Asri 地区・Diski Padang Hijau 地区

Padan Bulan 地区・Tuasan 地区・Diski Bumi Asri 地区

Medan Labuhan 地区・Belawan 地区・Medan Kota 地区

**【実施体制】**

日本人調査チームを中心にPDAM Tirtanadi職員とともに2班に分け日本調査員指導の下、探索器材の取扱方法、漏水調査手法、地上漏水調査や地下漏水といった場面ごとの機材選択法について実習しながら2班とも同じ内容の調査を実施。

**【漏水調査結果】**

地上漏水：配水管 0ヶ所、給水管：22ヶ所

地下漏水：配水管 17ヶ所、給水管：17ヶ所

※既存の漏水調査機器では発見できなかった漏水箇所も検出

③第3次現地調査(2014年8月26日～9月22日)

<第3回漏水調査の実施>

**【調査方法】**

地上漏水調査：小型軽量漏水探索器、小型音聴式漏水探索器 ST04、音聴棒を使用し、水道メーター周辺の給水管に直接接触す

ることによる漏水調査

地下漏水調査：樹脂管用漏水探索器 D305 による配管路探索・配管長を計測しハイドロフォン併用の相関式漏水探索器アクアスキャン 610 による漏水箇所の絞り込み、D305 及び小型軽量漏水探索器による漏水箇所の位置確認を行った。

超音波流量計 F601・高精度デジタル圧力計による夜間最少流量調査：漏水検出が困難な条件がある DMA 地区を選定し、有効な調査手法を検証

**【調査対象地域】**

Pukat1 地区、Amir Hamzah 地区・Tani Bersaudara 地区・Bogor 地区  
Tasbih 地区 Citra Garden 地区

**【実施体制】**

PDAM Tirtanadi 職員への漏水調査手法指導を兼ね、日本人調査チームと習熟度別に分けた PDAM Tirtanadi 職員の混合チーム 2 班体制で実施

**【漏水調査結果】**

地上漏水：配水管 3ヶ所 給水管 8ヶ所

地下漏水：配水管 7ヶ所 給水管 6ヶ所

PDAM Tirtanadi 職員のみでの検出：

地上漏水：給水管 10ヶ所

地下漏水：配水管 2ヶ所

④第 4 次現地調査(2015 年 2 月 1 日～2 月 28 日)

<第 4 回漏水調査の実施>

**【調査方法】**

超音波流量計 F601 と高精度デジタル圧力計による夜間最少流量調査：漏水検出が困難な条件がある DMA 地区を選定し、有効な調査手法を検証

**【調査対象地域】**

Villa Permata 地区、Komp Wakiki 地区・Perum BSD 地区

Bagan Deli 地区・Sicanang 地区 Komp Minimalis 地区

**【実施体制】**

地上漏水班と地下漏水班の 2 班体制で実施

**【漏水調査結果】**

地上漏水：配水管 0ヶ所 給水管 5ヶ所

地下漏水：配水管 5ヶ所 給水管 8ヶ所

(5) 普及活動の実績(ワークショップ・セミナーでの発表・報告)

①USAID 主催無収水削減対策セミナーへの参加(2014年6月25日)

樹脂管用漏水探索器及び同機器を使用した漏水調査手法の説明、無収水削減対策にかかるプレゼンテーションを実施。

漏水管理課長を含め参加人数約20名を2班に分け樹脂管用漏水探索器を使用して漏水調査を実施。

②ジャワ島ショートワジョウ市 PDAM Tirtanadi への訪問(2014年6月26日)

提案機材による漏水調査に関する情報を提供。同市は漏水も多く、無収水率も高いので調査依頼の希望があった。

③日本水道協会・インドネシア水道協会主催によるセミナー

(JWWA-PERPAMSI 研修会への参加(2014年8月28日))

樹脂管用漏水探索器及び同機器を使用した漏水調査手法の説明、無収水削減対策にかかるプレゼンテーション、及びジャカルタ市内のパイロット地区で漏水調査機器のデモンストレーションを実施した。PDAM Tirtanadi 漏水管理課3名の職員も参加し地下漏水調査手法を紹介した。

④「Water Leakage Management to Reducing the Non Revenue Water」の開催

(2014年9月8日)

漏水調査手法及び漏水対策、配水管網維持管理に関するワークショップを開催 (PDAM 関係者約80名が参加)。

⑤ビンジャイ市での無収水削減手法及び漏水調査にかかるワークショップ開催

(2014年9月15日)

無収水削減手法及び漏水調査の重要性に関するプレゼンテーション及び職場内研修を実施(OJT)。

⑥公共事業省・PERPAMSI 共催「Joint Seminar on LCC Reduction Challenges for PDAMs System Development in Indonesia」(2015年2月24日)

生涯維持管理コスト削減の観点から見た水道局の運営について意見交換を行う。各水道事業体38名、現地日系企業23名、JICA4名、JETRO1名、その他5名が参加した。

⑦バンドン市水道公社幹部職員を対象に漏水探索技術及び無収水対策に関するプレゼンを実施。既存の漏水探索器との違い等を説明し、機材導入効果

について理解が深まった。

(6) 事業目的の達成状況

① a. 漏水調査結果と無収水率推移

全25DMAのうち17DMAで漏水調査を行った実証結果



漏水調査結果（発見箇所数）

		1st	2nd	3rd	4th	合計
配水管		6	17	10	5	38
漏水	地上漏水	1	0	3	0	4
	地下漏水	5	17	7	5	34
給水管		13	39	14	13	79
漏水	地上漏水	7	22	8	5	42
	地下漏水	6	17	6	8	37
合計		19	56	24	18	117

検出漏水流出量 m<sup>3</sup>/月

		1st	2nd	3rd	4th	合計
配水管		8,333	49,179	70,121	32,400	160,033
漏水	地上漏水	700	0	12,000	0	12,700
	地下漏水	7,633	49,179	58,121	32,400	147,334
給水管		1,248	6,847	4,069	734	12,899
漏水	地上漏水	285	4,778	1,503	389	6,955
	地下漏水	963	2,069	2,566	346	5,944
合計		9,582	56,026	74,190	33,134	172,932

b. 調査対象の 17DMA 全体の無収率の推移

各 DMA 内への流入量から調査対象 17DMA の無収水率を算出  
 調査前(2014 年 1 月) 41.82% → 調査後(2014 年 10 月)24.45%  
**約 17%無収水率を削減**

②インドネシア環境下での提案機材の有効性評価

a. 樹脂管用漏水探索・配管路探索機 PVC ロケーター D305

パイプロケーターとしての扱い易い、AS610 と併用で確度の高い漏水調査が可能。乾燥地では深いアースで対応可。浸水地・電線/鉄線入舗装では誘導の影響により使用不可。両端に 1 台ずつ設置して探索すると精度が上がる。

b. 長距離相関式漏水探索機アクアスキャン (AS) 610

地下漏水探索に効果的。特に低水圧やソケット抜けによる漏水の場合はハイドロフォンを併用することにより確度の高い調査が可能。D305/ポケットフォンと併用して違法接続管の発見にも有効。距離が長い場合はアンテナを延長することにより対応。効果的な運用のために

	<p>は仕切弁の増設が必要。</p> <p>c. <u>小型軽量漏水探索機</u> 従来の音聴より精度が高い。AS610 と周波数を合わせて併用することにより確度の高い探索が可能。低水圧、微弱な漏水音の場合は検出困難なため、AS610 での絞り込みが必要。</p> <p>d. <u>小型音聴式漏水探索機 ST04</u> 操作が簡単で初心者のモチベーション向上に最適。記録が残るので再確認が容易。検出精度が高い。</p> <p>e. <u>水素式高性能漏水探索機バリオテック 460</u> 宅内漏水が簡単に発見可能。音聴も D305 も難しい場合の解決策となる可能性が高い。</p>
課題	<p>1. 実証・普及活動を通じて抽出された課題</p> <p>(1) 商業地域にみられた特性</p> <p>①水道管の分岐が多く、D305 では漏水個所との見分けが困難</p> <p>②AS610 では分岐箇所では起こる渦流とソケット部漏水の波形が酷似し見分けが困難</p> <p>③住宅街では区間内の止水栓を止め配管の静かにさせるのも住民の協力が必要となり AS610 とハイドロフォンでの計測にも時間を要する</p> <p>④維持管理のための仕切弁の増設が必要</p> <p>⑤夜間も車両の往来が激しいため日中と条件は変わらず、音聴式漏水探索器による確認作業も時間を要する</p> <p>(2) 天候によるスケジュール遅延 雨天による調査中断、日中酷暑による作業効率の低下。</p> <p>(3) トレーサーガス ガス調達業者が少なくガス代が高いため、代用品の検討が必要</p> <p>2. ビジネス展開計画</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・漏水調査機器のバックアップ及び修理メンテナンス体制確立の必要性</li> <li>・漏水調査機器購入のための各水道公社の予算化に向けた州政府への働きかけ</li> <li>・高額な輸送・物流コスト及び全体で 30%近い諸税等により販売価格が高騰</li> </ul>
事業後の展開	<p>今後の事業展開に向け、本事業終了後、以下の取り組みを中心に行う予定。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・現地協力者と雇用契約締結、現地調査・販売活動・修理受付業務を任命する。</li> <li>・機材のメンテナンス体制を充実するための修理体制ネットワークの整備及び現地協力者へ修理技術を移転する。</li> <li>・インドネシア水道協会会報を通じたインドネシア国内広報活動を継続的に展開する。特に各主要 PDAM 及び大学教育機関への漏水探索技術の紹介と情報発信を行う。</li> <li>・インドネシア公共事業省(32 州)の地方局へ機材配備計画を推進する。</li> </ul>

- |  |   |
|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"><li>・セミナー参加者リストをもとにして、PDAM 事業体に漏水調査機器の有用性と経済効果をアピールし普及を図る。(必要に応じ Tirtanadi 職員によるデモンストラーションの実施。)</li><li>・水道事業に参画している現地日系企業・商社等に対し本事業の成果を共有し、将来的な ODA 事業の可能性を打診。</li><li>・樹脂管を使用している日本国内の水道事業体や本邦コンサルタント会社等に対し本事業の成果を共有し、実証事業で得られた手法の国内普及を図る。</li><li>・主要 PDAM に無収水対策専門の漏水研修施設を整備し、漏水探索専門技術の人材開発を支援する。その際、漏水熟練技術者の再雇用についても検討する。</li><li>・インドネシア無収水対策に関する ODA 事業にかかる情報収集及び関係者との意見交換を行う。</li></ul> |
|--|---|

## 1. 事業の背景

### (1) インドネシア共和国における開発課題の現状及びニーズの確認

#### ①インドネシア共和国(以下、インドネシア)の政治・経済の概況

インドネシアは面積約 189 万 km<sup>2</sup>(日本の約 5 倍)、人口約 2.47 億人(2012 年世界第 4 位)の、ASEAN 最大の人口と国土を有する中核国である。世界最大のムスリム人口を抱え、マラッカ海峡を始め重要な海上交通路の要衝に位置し、同国の安定は我が国を含むアジア全体の安定と繁栄に不可欠である。

インドネシアは共和制の下、33 州から構成される。2004 年 10 月にインドネシア史上初となる有権者直接投票によりユドヨノ政権(民主党)が発足。同年 12 月のスマトラ沖大地震及びインド洋津波、2006 年 5 月及び 7 月の相次ぐジャワ島での地震等、自然災害に見舞われたが、これら自然災害への有効な対策、その他治安の改善や堅実なマクロ経済運営などが評価され、高い支持率を獲得し、2009 年 7 月の大統領選挙で再選された。ユドヨノ政権第 2 期目(2009 年～2014 年)では、国家開発の基本方針「国家中期開発計画」において、インフラ及び投資・ビジネス環境の整備を重点施策と位置付け、積極的に外資系企業の誘致に取り組み、安定した政治体制を維持してきた。

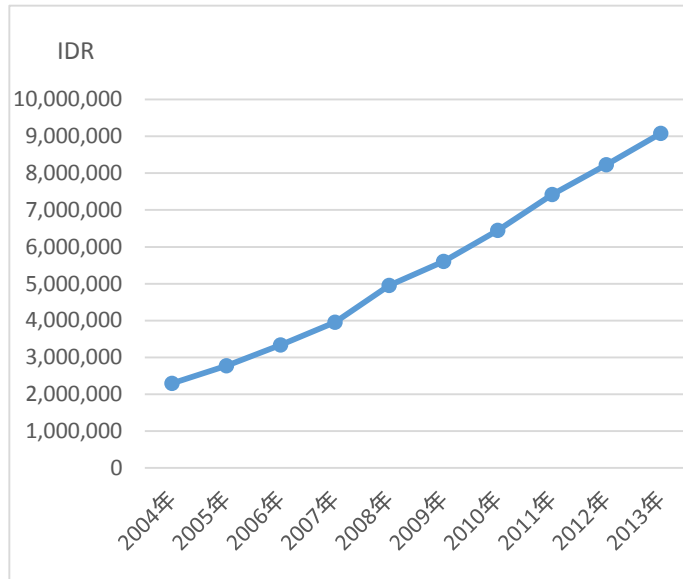
2014 年 7 月に実施された大統領選挙にて当時ジャカルタ州知事のジョコ・ウィドド氏(闘争民主党)が当選、7 代目大統領(任期 5 年)として現在政権運営にあたっている。

インドネシアの経済状況については、1997 年～1998 年のアジア通貨危機を機に好調だった国内経済が一転し 1998 年の経済成長率がマイナス 13.1%と落ち込んだこともあったが、その後世界金融・経済危機の影響を受けたにもかかわらず 2009 年も 4.6%の経済成長を維持した、その後も 2010 年 6.2%、2011 年 6.5%、2012 年 6.3%と回復し、堅調に成長を維持してきたが、2013 年、世界経済の成長鈍化や米国の金融緩和縮小等の影響を受け、成長率は 5.8%と減速し、2009 年以来 4 年ぶりに 6%を下回る結果となった。しかしながら、近年の政治的安定と順調な経済成長の実現により、東南アジア唯一の G20 メンバーとして国際場裏での役割を拡大してきており、気候変動対策や民主化支援などアジア地域及び国際社会の課題に対しても積極的に取り組む姿勢を見せている。

日本との関係では、インドネシアへ進出している日系企業数は約 1,300 社に達し、インドネシアは我が国企業にとって重要な活動拠点となってきたと言える。また、インドネシアは、LNG や石炭等のエネルギー資源、銅やニッケル等の鉱物資源の重要な供給国であり、対日貿易総額は 2.8 兆円(2013 年)にのぼる。インドネシアがより良いビジネス・投資環境を整備し、更なる経済成長を達成することは、インドネシアのみならずアジア地域の発展に大変重要であると同時に、我が国がアジア諸国と共に成長するという観点からも重要なステークホルダーであると言える。

経済協力の分野においても両国の関係は深く、2012 年度の日本の対インドネシア援助実績は総額約 277.6 億円(内円借款 154.90 億円)にのぼり、累計ベースでは世界最大の援助国となっている。(出典：外務省「国別データブック」)

表 1-1 インドネシア GDP 推移 2004-2013 年



2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年
2,295,826	2,774,281	3,339,217	3,950,893	4,948,688	5,606,203	6,446,852	7,419,187	8,229,439	9,083,972

単位:Rp.

出典: IMF World Economics Data Base 2014

また、インドネシアの特徴として、若年層労働者人口の層が厚い、輸出額の割合が低く個人消費の割合が高いといった内需主導型の経済構造であることから、国内消費の拡大が経済成長へつながるものと考えられる。さらに、石油や天然ガスをはじめ天然ゴムや銅鉱、コーヒー・紅茶など多様な天然資源・産物に恵まれ、地理的にも成長目覚ましい中国・インドに近いことから両国の資源需要がインドネシア経済の外需を支えるものとみられる。

本事業対象のメダン市は、インドネシアの西端に位置するスマトラ島の北部、北スマトラ州の州都でありインドネシア第3の都市である。マラッカ海峡に注ぐデリー川の河口から24km上流に位置し、面積は265.10 km<sup>2</sup>、21地区(District)で構成される。気候は、年平均気温27度、年間降雨量約1,800ミリメートルと年間を通じて高温多湿な熱帯雨林気候である。

1860年代にオランダのたばこ会社が進出してから急速に発展し、タバコ・ゴム・茶・アブラヤシなど、周辺地の産物の集散地として繁栄した。

現在は、人口約211万人を擁するスマトラ島最大の都市として、また、市内北方25kmに位置するベラワン港を拠点とした交易の中心地として、インドネシアにおいて重要な地位を占めているほか、国内最大の湖、トバ湖(市内の中心地より南東約200km)の玄関口として内外から多くの観光客が訪れている。



図 1-1 メダン市各地区

出典：PREPARATION OF THE MEDIUM TERM INVESTMENT PROGRAM PLAN (RPIJM)  
DRINKING WATER PROVISION SYSTEM PDAM Tirtanadi

インドネシア経済の堅調な成長を背景に、近年はメダン市内でも中間所得層の豊富な消費活動が顕著であり、市内に次々とショッピング・モールや高級ホテルがオープンしている。また、今後の成長分野として、スマトラ島の豊富な農業資源、地熱などの自然エネルギーの活用が期待されており、シンガポールやクアラ・ Lumpur(マレーシア)とも近い地理的な優位性とも併せて、大きな潜在力を秘めた地域として注目されている。

好調な経済に伴いメダン市の人口も 1 人あたりの収入も表 1-2、表 1-3 に示すように毎年伸びている。今後この人口増に対応しながら国際競争力のある投資環境と強固な経済基盤を構築する為には、それら経済活動を支える基本的社会インフラである上下水道整備・改善が重要な課題と認識されている。

表 1-2 メダン市人口推移

年度	メダン市人口	人口増加率%	市域(km <sup>2</sup> )	人口密度(人/ km <sup>2</sup> )
2001	1,926,520	—	265.10	7,267
2002	1,963,882	1.94	265.10	7,408
2003	1,993,602	1.51	265.10	7,520
2004	2,006,142	0.63	265.10	7,567
2005	2,036,185	1.50	265.10	7,681
2006	2,067,288	1.53	265.10	7,798
2007	2,083,156	0.77	265.10	7,858
2008	2,102,105	0.91	265.10	7,929
2009	2,121,055	0.90	265.10	8,001

出典：Medan dalam Angka Tahun 2010(BPS Kota Medan:メダン市統計局)

表 1-3 メダン市収入

項目	年		
	2007	2008	2009
メダン市地方収入(百万 Rp.)	51,649,690	62,226,200	69,728,190
人口	2,083,156	2,102,105	2,121,055
1人当り収入(Rp.)	24,793,962	29,601,851	32,874,296

出典：Medan dalam Angka Tahun 2010(BPS Kota Medan：メダン市統計局)

## ②インドネシア都市給水分野における開発課題(特に無収水対策について)

無収水とは浄水場で浄化された給水量から水道メーターで計測し各家庭に請求された使用水量を差し引いた水量のことをいう。無収水量の発生には一般的に以下の要因が指摘されている。

- ・ 請求書を受領しても支払い能力のない家庭での使用水量。
- ・ 水道メーターを設置せず、かつ水道料金の徴収ができない使用水量。
- ・ 水道メーターに換算できない不感水量。
- ・ 違法接続して水道水を使用している家庭の使用水量。(罰則あり)
- ・ PVC管の老朽化が原因で交通など振動により水道管の継手部や劣化部に入る亀裂や、配水管部と給水管の分岐部の接続不良による漏水(PVC管寿命は約20年(日本の基準)だが、PDAM Tirtanadiを含めたインドネシア水道公社では20年～30年使用されている)。
- ・ 新設水道管の洗浄水、各水道事業所で使用する水道水といった事業所用水。
- ・ 各家庭に設置した受水槽のフロート故障による漏水。

2011年12月インドネシア北スマトラ州水道公社(PDAM Tirtanadi Provinsi Sumatra Utara) (PDAM Tirtanadi)が北スマトラ州政府に提出した2011-2015中期開発計画書(PRJIM)に、メダン市及びその近郊地域(ゾーンI)における2010年の年間給水量は167,154,487m<sup>3</sup>であるのに対し年間無収水量は46,762,052m<sup>3</sup>、率にして27.98%と報告されている。2008年の29.58%からの推移をみると無収水量は2009年に5.34%、2010年には0.37%と減少している。これはインドネシア国全体の平均無収水

率 37%と比較すると低い数値である。

しかしながらメダン市の人口は 2005 年から 2009 年にかけて平均 1.055%の割合で増加し、2009 年の時点で 2,121,055 人と大都市のカテゴリーに位置づけられ、2015 年には給水世帯数は 44 万世帯へ給水需要も 1300 万 m<sup>3</sup>になると推定している。(出典「2015 年中期開発計画」 2015 年までの給水需要と無収水の推定値)このような状況から中期開発計画書では特にメダン市及びその近郊地域(ゾーン I)を重点的に改善する方針を示し、2015 年までに無収水率を 2010 年の 27.98%から 22%に引き下げることを目標としている。(表 1-4)

表 1-4 メダン市及び周辺地域の水供給量・収水量・無収水量の推移

Branch	Year		
	2008	2009	2010
Water produced (m <sup>3</sup> / year)	158,656,386	163,745,798	167,154,487
Water sold (m <sup>3</sup> / year)	111,732,355	117,770,130	120,392,435
Water loss (m <sup>3</sup> / year)	46,924,031	45,975,668	46,762,052
Water loss (%)	29.58	28.08	27.98

出典：Laporan Litbang PDAM Tirtanadi tahun 2008, 2009 dan 2010

そのための対策として、漏水調査、配水機器の修理・更新、配水管路・区域の整備、基準に則した水道メーターの校正交換をあげている。漏水調査に関しては、以前配備された相関式漏水探索機、鉄管探知器、音聴式漏水探索機等が主に金属管の漏水探索に適して開発されたものであるため、PVC 管を使用している配水管や水圧が 0.05MPa 程度と低い PDAM Tirtanadi の水道施設では、漏水音が小さいもしくは水道管に伝わりにくい状況のため、地下漏水探索が困難であったり、故障したまま使用できなくなっていたりと、既存の機材が活用されていない。結果として 2014 年 1 月時点(第 1 次現地調査時)で、今回 3 回の調査で対象となったパイロット地区の平均無収水率をみても、37.71%と依然として高い状況である。

また、水道を各家庭に届けるまでにかかる費用には、河川・ダム等の水源水を浄水場までポンプ圧送するための電気料金、浄水のための薬品代金、及び浄水場から各配水池までポンプ圧送するためもしくは水圧の低い地域の場合配水池から各家庭に圧送するための電気料金がかかる。PDAM Tirtanadi Production Division の報告によると、本事業の対象地域である PDAM Tirtanadi Zone1(メダン市及びその近郊の地域)における水道水製造費用は 982Rp/m<sup>3</sup>と報告されている。

このことから算出すると表 1-4 から

年間無収水量 46,762,052m<sup>3</sup>(2010 年)×982≒460 億 Rp(約 4 億 3500 万円)

と、多額の費用が損なわれていることがわかる。

すなわち現地における無収水問題は膨大な量のエネルギー損失と薬剤の損失、さらに収益面でのマイナス要素に大きくかかわる重大案件であることを認識し、各 PDAM(水道公社)に対して無収水対策に対する予算化を促していく必要がある。

### ③インドネシア共和国の無収水削減対策における関連計画、政策(外交政策含む)および法制度

#### ア. 関連計画

インドネシアの国家開発政策は、社会経済開発計画に相当する 20 年間の長期国家開発計



(RPJPN2005～2025)を国家開発計画庁(BAPPENAS)が作成している。同計画では、貧困層に配慮した安全な水供給システムの改善についての基本方針が示されている。また、その下位計画として、国家中期開発計画(RPJM 2010～2014)があり、それを踏まえてセクター別国家政策と戦略計画(RENSTRA 2010～2014)を関係各省庁が策定している。水道セクターに関しては、ミレニアム開発目標(MDGs)の達成を目指した給水率の向上が目標となっており、「安全な水へのアクセス率」を基準年(1993年)の37.73%から目標年次(2015年)の68.87%に増加させることを目指している。

また、公共事業省居住総局(Cipta Karya)が作成する戦略計画(RENSTRA 2010～2014)では、水道サービスの課題のひとつとして、37%と高い漏水率<sup>1</sup>に併せて低水圧を問題にしており、水圧の低い配水管に漏水箇所があると、管周囲の汚染物質を内側に引き込んでしまい管内の水道水を汚染する原因となることもあり、漏水率削減は急務であると指摘している。

#### イ. 関連法制度

2010年インドネシア共和国大統領令 No.13 では、(2005年 No.67の改正)政府とインフラ整備企業体の連携について「飲料水設備、水源水取水用設備を含む送水管網、配水管網、浄水設備の整備をすること」と定められている。

また2005年の水供給システムの開発に係る政令 No.16において、行政は、国民が安全で衛生的、生産的な生活を維持するために必要な水供給システムの開発を行わなければならない、としている。(Indonesia Water Investment Roadmap 2011-2014)

### ④インドネシアの無収水削減対策における ODA 事業の事例分析及び他ドナーの分析

#### ア. 我が国の無収水削減対策における ODA 事業の事例

対インドネシア国別援助方針(2012年4月)では、「長い友好関係を有する戦略的パートナーであるインドネシアのさらなる経済成長に重点を置きつつ、均衡のとれた発展と、アジア地域および国際社会の課題への対応能力向上を支援する」ことを援助の基本方針とし、重点分野「更なる経済成長への支援」の下インフラ整備支援を進めるとし、特に官民連携(PPP)の枠組みの強化を促していくことに留意するよう掲げている。

我が国による近年の給水等の分野に関する協力実績(表1-5参照)において、本事業との関連性があるものとして、技術協力プロジェクトとして実施された「南スラウェシ州マミナサタ広域都市圏上水道サービス改善プロジェクト」があげられる。対象となる4つのPDAMに向け広域連携体制構築、無収水率改善対策、財務改善、施設維持管理改善、水質管理改善を通して水道サービスの向上を図る2年5ヶ月にわたるプロジェクトであったが、無収水率削減に関しては漏水調査をはじめメーター検針の指導や水道料金徴収率の上昇など複合的な技術指導の結果、全体で削減され財務状況が改善された。

本事業については、漏水が原因の無収水に対象を絞り、非金属管向けに開発された漏水調査機器がPDAMの無収水削減対策にもたらす効果を実証することを目的に実施した。

<sup>1</sup> 漏水率とは全体の給水量のうち漏水量の占める割合のことをいう。

表 1-5 給水等の分野における近年の対インドネシア協力案件一覧

スキーム	分野別課題内訳	案件名	期間
開発調査	都市給水	ジョグジャカルタ特別州広域水道整備計画調査	2006/09～2008/03
開発調査	総合的資源管理	バリ島総合水資源開発・管理計画調査	2004/09～2006/08
開発調査	その他水資源・防災	ウォノギリ多目的貯水池堆砂対策計画調査	2004/01～2007/08
開発調査	総合的水資源管理	ジェネベラン川流域管理能力強化計画調査	2003/04～2007/03
技術協力プロジェクト	水質汚濁	ジャカルタ汚水管理マスタープランの見直しを通じた汚水管理能力強化プロジェクト	2010/07～2012/06
技術協力プロジェクト	環境行政一般	河川流域期間実践的水資源官営強化能力向上プロジェクト	2008/07～2011/07
技術協力プロジェクト	水資源開発	インドネシア国「水資源開発研究所機材整備計画」フォローアップ協力(据付・指導)	2007/03～2010/03
技術協力プロジェクト	その他	地方給水プロジェクト	2004/01～2006/12
個別案件(専門家)	総合的水資源管理	水資源政策アドバイザー	2008/05～2010/05
個別案件(専門家)	地方給水	水道政策	2007/04～2010/03
草の根技協(地域提案型)	都市給水	インドネシア・スラバヤ市民のための安全な飲料水供給と水質改善に関する調査	2014/05～2017/03
草の根技協(地方提案型)	水質汚濁	スラバヤ市水質管理能力向上	2007/11～2009/03
有償資金協力- 付帯プロ	総合的水資源管理	ジャカルタ首都圏総合治水能力強化プロジェクト	2010/10～2013/10
有償資金協力	総合的水資源管理	ウォノギリ多目的ダム・貯水池堆砂対策事業(I)	2009/03～2012/10
有償技術支援-付帯プロ	都市給水	南スラウェシ州マミナサタ広域都市圏 上水道サービス改善プロジェクト	2009/10～2012/02

出典：JICA プロジェクト基本情報

イ．ODA 事業以外の我が国の無収水削減対策における協力事例

日本水道協会では、インドネシア水道協会及びJICAの協力のもと、毎年我が国の水道局若手職員育成のためにジャカルタで研修を実施している。2015年も8月24日から8月30日まで「2014 PERPAMSI And JWVA Exchange Training Program ; Capacity Building on Water Supply for Young Leaders」を開催し、今回提案製品の樹脂管用漏水探索・配管路探索機PVCロケーターD305・長距離相関式漏水探索機アクアスキャン610・小型軽量漏水探索機を持ち込み漏水調査の基礎知識・無収水削減対策について現地調査を交えてセミナーを行った実績がある。

ウ．他ドナーの分析

インドネシアでは、世界銀行(WB)、アジア開発銀行(ADB)、米国国際開発庁(USAID)、豪州国際開発庁(AusAID)等を中心にさまざまなドナーが水セクターで活動を展開している。主なプログ

ラム・プロジェクトについては以下のとおり。

a. Water Supply And Sanitation for Low Income Communities Project(PANSIMAS) : WB、AusAID

資金規模 : 300 億円弱(AusAID : 54.5 百万豪ドル(有償)、WB : 137.5 百万米ドル(有償)、  
インドネシア政府(GoI) : 101.1 百万米ドル)

対象期間 : 2006 年 9 月～2014 年 12 月(現在フェーズⅢ)

概要 : コミュニティによる水管理組合の組織化、料金徴収並びに簡単な施設の点検・  
補修・維持管理の指導能力開発。AusAID(2013 年 1 月)のレビューでは、15 件  
110 地区 6,190 の村で 420 万人への水供給と 300 万人の衛生施設の設置がなされ  
たと報告。

b. Urban Water Supply And Sanitation Project(UWSSP) : WB

- ・西ジャワ州ボゴール(事業費 10.95 百万ドル)新規浄水場の建設、既存浄水場のリハビリ  
配水池の建設、配水管網の拡張と給水管接続、無収水削減対策
- ・中部カリマンタン州カプアス(事業費 5.65 百万ドル)配水池の建設、配水管網の拡張と給  
水管接続、無収水削減対策
- ・南スマトラ州ムアラ・エニム(事業費 14.58 百万ドル)取水施設と導水管の建設、新規浄水  
場の建設、配水池の建設、配水管網のリハビリ、給水管接続、無収水削減対策

c. West Jakarta Water Supply Development Project : ADB

・資金規模 : 47 百万ドル



・対象期間 : 2008 年～2012 年

・概要 : 政府保証なしの民間企業(PT PALYJA)へのプライベートセクターローンにより  
配水管網復旧・漏水調査及び修繕・水圧管理・不良及び老朽メーター交換・  
接続部普及等の無収水削減対策や老朽管更新を含む水道施設の整備を実施。  
同企業は当該プロジェクト開始より飲料水水質基準を順守しながら平均 20%  
の収益を維持している。

(2) 普及・実証を図る製品・技術の概要

探索機	提案製品																		
樹脂管 漏水探 索機	<p data-bbox="252 304 948 338">樹脂管用漏水探索・配管路探索機 PVC ロケーターD305</p> <p data-bbox="252 349 536 383">株式会社グッドマン製</p> <p data-bbox="264 398 352 432">【概要】</p> <p data-bbox="252 450 1027 719">樹脂製水道管に設置している仕切弁や消火栓等の金属部分を電極として、これに電磁波をかけることにより、管内を流れる水道水が媒体となって電磁波が管内に伝わる。この電磁波を受信することにより配管の埋設位置を確認する。漏水点以降は電磁波も地中に漏れるため地表の電界レベルが急激に減少することを利用して漏水点の検出が可能となる装置。</p> <div data-bbox="1129 331 1458 696" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1145 730 1461 757">図 1-2 PVC ロケーターD305</p> <div data-bbox="256 752 1241 1160" data-label="Diagram"> </div> <p data-bbox="663 1167 991 1193">図 1-3 D305 漏水探索概念図</p> <p data-bbox="264 1261 352 1294">【用途】</p> <p data-bbox="277 1305 844 1339">樹脂管の配管路探索及び漏水箇所の特定調査</p> <p data-bbox="264 1357 408 1391">【製品仕様】</p> <table data-bbox="277 1402 1091 1727"> <tr> <td data-bbox="277 1402 368 1435">発信機</td> <td data-bbox="376 1402 780 1435">電源：12V シールドバッテリー</td> <td data-bbox="831 1402 1067 1435">作動時間：約 6 時間</td> </tr> <tr> <td data-bbox="336 1451 368 1485">間</td> <td data-bbox="376 1503 703 1536">送信出力：30W(可変)max</td> <td data-bbox="831 1503 1091 1536">作動温度：-15～50℃</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="376 1547 751 1581">電池残量表示：電圧計に表示</td> <td></td> </tr> <tr> <td data-bbox="277 1592 368 1626">受信機</td> <td data-bbox="376 1592 772 1626">電源 9V リチウムイオン充電電池</td> <td data-bbox="831 1592 1091 1626">作動時間：約 20 時間</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="376 1637 647 1671">作動温度：-20～60℃</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="376 1682 687 1715">寸法：540×400×210 mm</td> <td data-bbox="831 1682 1007 1715">総重量：13.5kg</td> </tr> </table> <p data-bbox="264 1738 408 1771">【販売価格】</p> <p data-bbox="277 1783 504 1816">1,296,000 円(税込)</p> <p data-bbox="264 1827 464 1861">【特徴・優位点】</p> <ul data-bbox="288 1883 1461 2051" style="list-style-type: none"> <li>樹脂管の漏水探索に特化して開発された機器であり、樹脂管が多く使われているメダン市での漏水探索に適している。</li> <li>従来の音聴式ではなく電磁波により漏水箇所を絞り込むため、車両の往来が激しい騒音が多い環境でも使用可能。</li> </ul>	発信機	電源：12V シールドバッテリー	作動時間：約 6 時間	間	送信出力：30W(可変)max	作動温度：-15～50℃		電池残量表示：電圧計に表示		受信機	電源 9V リチウムイオン充電電池	作動時間：約 20 時間		作動温度：-20～60℃			寸法：540×400×210 mm	総重量：13.5kg
発信機	電源：12V シールドバッテリー	作動時間：約 6 時間																	
間	送信出力：30W(可変)max	作動温度：-15～50℃																	
	電池残量表示：電圧計に表示																		
受信機	電源 9V リチウムイオン充電電池	作動時間：約 20 時間																	
	作動温度：-20～60℃																		
	寸法：540×400×210 mm	総重量：13.5kg																	

	<p>【デメリット】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・雨天時、水分を多く含む土壌での探索や、金属部分のバルブ等が水没して電磁波が地表面で拡散してしまい探索できない。</li> <li>・分岐箇所・配管の落込み箇所での漏水と同じ信号音の減衰がみられ、区別が難しい場合がある。</li> </ul>	
探索機	提案製品	(参考)現在インドネシアで使用されている機器及び競合製品
音聴式探索機	<p>小型音聴式漏水探索機 ST04 (ドイツ ゴブリン社製)</p>  <p>図 1-4 小型音聴式漏水探索機</p> <p>【概要】</p> <p>漏水音を自動的に増幅するデジタルアンプを搭載し、音圧が数値で表示されるので、誰にでも簡単に漏水箇所の絞り込みができる。ステンレス棒を継ぎ足すことにより、電子音調棒としても使用できる。</p> <p>【用途】</p> <p>上記 D305 等で漏水箇所を絞り込んだ後、漏水点をピンポイントで発見するために使用。電子音聴棒を直接管体にあて、音聴及び音圧レベルを確認して漏水箇所を特定する。</p> <p>【製品仕様】</p> <p>電源：単 3 アルカリ電池(ニッケルマンガン充電池)2 個(それぞれ最小で 2000mA/h)</p> <p>作動時間：最小 8 時間</p> <p>動作温度：-10℃～+50℃</p> <p>保管温度：-25℃～+70℃</p> <p>【販売価格】</p> <p>280,800 円(税込)</p> <p>【特徴・優位点】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・小型で軽量。</li> <li>・デジタル式のアンプを搭載し、周辺ノイズを自動的に消去して漏水音のみを容易に判別できる。</li> </ul>	<p>音聴棒 LSP-1.5(フジテコム株式会社製)</p>  <p>図 1-5 音聴棒 LSP-1.5</p> <p>【概要】</p> <p>棒の先端を給水装置に当てて音聴し、異常音を調査する。</p> <p>通常は熟練した技術者が、棒に伝わる音から漏水の有無を判別する。</p> <p>【用途】</p> <p>棒の先端を直接管体にあて、ダイアフラムを介した音を聞きながら漏水箇所を特定する。</p> <p>【製品仕様】</p> <p>カップ寸法：67 mm×29 mm</p> <p>全長：1513 mm</p> <p>バー直径：7 mm</p> <p>重さ：510g</p> <p>【販売価格】</p> <p>29,160 円(税込)</p> <p>【特徴・デメリット】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・かつては漏水探索方法の主流であった。</li> <li>・棒に伝わる風の音や騒音の中から微弱に増幅された漏水音を判別できる豊富な経験を必要とする。</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・音聴棒と比較し数百倍の漏水音の増幅が得られ、PVC管・樹脂管のわずかな漏水音の診断が容易となる。</li> <li>・自動的に最少の音圧レベルをデジタル数字でLCD画面に表示するため、漏水箇所の特定が容易にできる。</li> <li>・延長可能なステンレス探査棒により、音聴棒的な使用感も得られる。</li> <li>・周囲の騒音の混入を防ぎ漏水音のみに集中できるイヤーマフラータイプの専用ヘッドホンの採用で長時間作業も容易にできる。</li> </ul> <p>【デメリット】</p> <p>PVC管の場合漏水箇所からの発生音が伝搬しにくいいため、周囲の騒音や振動が大きい場合は特に音聴確認できる範囲や深度が狭くなる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・漏水音の増幅率が弱いいため、平均(0.021～0.04MpA)の低水圧下のPVC管における漏水音の検出は困難である。</li> <li>・車の騒音が激しい環境での使用には適さない。</li> <li>・宅内漏水など狭い場所では長い棒が扱いにくい。</li> </ul>
<p>小型漏水探索機</p>	<p>小型軽量漏水探索機(グッドマン・ギューターマン共同開発)</p>  <p>図 1-6 小型軽量漏水探索機</p> <p>【概要】</p> <p>より小さな漏水音を聞くことができるよう高感度セラミックマイクを搭載した音聴式漏水探索機。マイクロフォンの小型軽量化により、総重量は約 0.5kg。手元グリップにスイッチを搭載し電源の入切を行う。デジタルアンプには環境ノイズを除去するフィルター、直近の8つの探索記録を表示して漏水地点までの距離を比較。マイクに探査棒を接続することにより電子音聴棒としても使用できる。</p> <p>【用途】</p> <p>上記 ST04 同様、漏水箇所を絞り込んだ後、漏水点をピンポイントで発見するために使用。マイクとデジタルアンプを介し地上もしくは配管から直接音聴することにより漏水箇所を探る。</p>	<p>アナログ式漏水探知機 HG-10A(フジテコム株式会社製)</p>  <p>図 1-7 アナログ式漏水探索機 HG-10A</p> <p>【概要】</p> <p>アナログメーター付のアナログ系アンプで構成されている。見やすいメーターと聴きやすい音が選択できるフィルターを採用することにより、探知効率を高めるとされている。</p> <p>【用途】</p> <p>マイクとアナログアンプを介し地上もしくは配管から直接音聴することにより漏水箇所を探る。</p>

<p><b>【製品仕様】</b></p> <p>フィルター：狭帯域のフィルターで、特定の音を音聴</p> <p>レベルメモリ：8回</p> <p>画面：バックライト付 LCD 表示</p> <p>電源：アルカリ単 3×4 本</p> <p>作動時間：通常使用 60 時間</p> <p>アンプ重量：270 g</p> <p>マイク重量：250 g</p> <p>販売価格：518,400 円(税込)</p> <p><b>【特徴・優位点】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ノイズフィルターとメモリー機能により誰にでも容易に漏水点の確認ができる</li> <li>・総重量約 500g と軽量であるうえ、トリガー部にソフトグリップが装着されているので、長時間作業に対応。</li> <li>・恒常的に発生する最少音のみを把握するため騒音環境に強い。</li> <li>・狭帯域フィルター搭載、音圧レベルのデジタル数値化により、PVC 管の漏水音の補足が可能。</li> <li>・屋外防滴仕様で、雨天時の作業も可能。</li> <li>・マイク部接地面は摩耗した場合ビス交換による修復が簡単。</li> <li>・疲労によるコード損傷の修理費は 2 万円程度 (通常 5～10 年で交換)</li> </ul> <p><b>【デメリット】</b></p> <p>水圧が極端に低い場合やソケットの抜けによる漏水は漏水音が発生しにくく、音聴が困難。</p>	<p><b>【製品仕様】</b></p> <p>フィルター：広帯域のフィルターで、特定の環境音をカット</p> <p>レベルメータ：65 mm×53 mm</p> <p>電源：単 3×6 本</p> <p>寸法：175×70×105 mm</p> <p>重量：800g</p> <p>販売価格：537,840 円(税込)</p> <p><b>【特徴・デメリット】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・アナログメーターは音圧レベルの最小・最高値を補足しにくいため実際の漏水音圧の適正な確認には熟練が必要。</li> <li>・メモリー機能はない</li> <li>・本体重量が 800g あるため、長期間作業での利便性が低い。</li> <li>・フィルターの周波数帯域が限定されているため、水圧の高い配管や漏水音が顕著な鉄管やタグタイル铸铁管には対応可能であるが、極低水圧の PVC 管や樹脂管の漏水音は周波数が低いため探知困難。</li> <li>・コード損傷の修理費は約 10 万円。</li> </ul>
--	---

相関式漏水  
探索機

長距離相関式漏水探索機アクアスキャン 610  
(ドイツ・ギューターマン社製日本版)



図 1-8 アクアスキャン 610

**【概要】**

高感度マイクと発信機が一体になった2つの完全防水センサーと相関器で構成される。また、グラフ表示により漏水を視覚的に表示する。

※相関：漏水箇所から発生した音が A・B 各センサーに到達し相関器に漏水音の波形を送信する。双方の波形を照合し漏水箇所から各センサーに到達するまでの時間差を自動的に計測することにより漏水地点を割り出す技術。

**【用途】**

広域の探索範囲から漏水箇所を絞り込むために使用。具体的には、設置した A・B センサーにより収集した音圧データを相関処理し、各センサーから漏水地点までの距離をグラフと数値で表示する。

**【製品仕様】**

フィルター：自動選択式、手動による無限調整  
ノッチフィルター：周波数選択  
センサー／プリアンプ：一体型  
センサー／プリアンプ重量：800g

相関式漏水探知器 LC-2500  
(フジテコム株式会社製)



図 1-9 相関式漏水探知機 LC-2500

**【概要】**

マイク・発信機・相関器で構成。24 ビット DSP による高速演算処理を行う。性能・操作性、耐久性を備えた効率的な機器とされる。

**【用途】**

広域の探索範囲から漏水箇所を絞り込むために使用。具体的には、設置した A・B センサーにより収集した音圧データを相関処理し、各センサーから漏水地点までの距離をグラフと数値で表示する。

**【製品仕様】**

フィルター：ハイパス・ローパス  
ノッチフィルター：OFF・50Hz/60Hz  
センサー／プリアンプ：分離型(別々のケーブルで接続)  
センサー／プリアンプ重量：3270 g  
(2850g+420g)



	<p>           相関器重量：1Kg            センサー感度：15V/g            送信出力：500mW 自動認識信号発信機能(ATIS)付            送信距離：1000m 以上(郊外)                              ～600m (市街地)                              ～300m(マンホール密閉状態)            相関分解能：16,000 ポイント            相関精度：100m につき 1cm            周波数解析：FFT、コヒーレンス及びASA(高度スペクトラム解析)            PC 出力：ブルートゥース            電源：3.7V リチウムポリマー2 次電池            作動時間：相関器 12 時間/センサ-8 時間            センサー：電波送信及び磁界固定内蔵型超小型高感度ピエゾセラミックセンサー            販売価格：3,132,000 円(税込)         </p> <p> <b>【特徴・優位点】</b> </p> <ul style="list-style-type: none"> <li>相関プロセスにおいて漏水固有の周波数範囲に限定する機能により、従来型の相関器では難しい環境ノイズの多い場所で、わずかな漏水を発見できる</li> <li>同時多重相関(異なる周波数帯における同時相関)が可能で、二次的漏水(取付管の漏水など)の発見が可能</li> <li>マンホール蓋を閉めたまま(A/B 間 300m 以内)探索ができるため、作業の安全性を確保できる。</li> <li>高感度マイクと発信機が一体となった完全防水センサーで取り扱いが楽である。</li> <li>完全自動フィルター搭載で、漏水箇所の検出診断が容易。</li> <li>ハイドロフォン(水中を伝わる音を収集する装置)を併用することにより難しい低水圧の樹脂管の漏水を検出することが可能である。</li> <li>本体とセンサーを同時に充電できる。</li> </ul>	<p>           相関器重量：3.1Kg            センサー感度：2.5V/g            送信出力：1mW            送信距離：100m 以下(当社比較試験による)                              マンホール密閉状態は不可            相関分解能・精度：未公表            周波数解析：FFT            PC 出力：RS232C            電源：相関器 単一電池×4 本                      送信機 単一電池×6 本            作動時間：相関器 8 時間/送信機 8 時間            センサー：圧電型            販売価格： 3,024,000 円(税込)            専用ソフト別売：64,800 円(税込)         </p> <p> <b>【特徴・デメリット】</b> </p> <ul style="list-style-type: none"> <li>マンホールカバーを開けて作業することになるので、市中での作業安全性が劣る。</li> <li>鋼管やタグタイル铸铁管には使用できるが、低水圧の PVC 管・ポリエチレン管には対応できない。</li> <li>ソフトウェアのアルゴリズムが 10 年以上改良されていないため、高度な相関検査に対応できない。</li> <li>送信出力が 1 mmW と低いため電波が届かないことが多い。</li> <li>ソフト面での開発がなされていないため、PVC 管や低い水圧の環境には対応できていない。</li> </ul>
--	--	---

	<ul style="list-style-type: none"> <li>各センサーの収録音を無線で確認、小型音聴式漏水探索機を接続して音聴確認することもできる。</li> </ul> <p>【デメリット】</p> <p>調査を行う範囲にセンサーを接続する止水栓・蛇口・露出金属部が必要。街中で A/B センサー間の止水が不可能な地域においては使用水と漏水との相違を判別することが困難。この場合夜間の作業が必要。</p>	
--	--	--



センサー・増幅送信機(B)から漏水箇所までの距離： $L_b = (L - T_2 \cdot C) / 2$

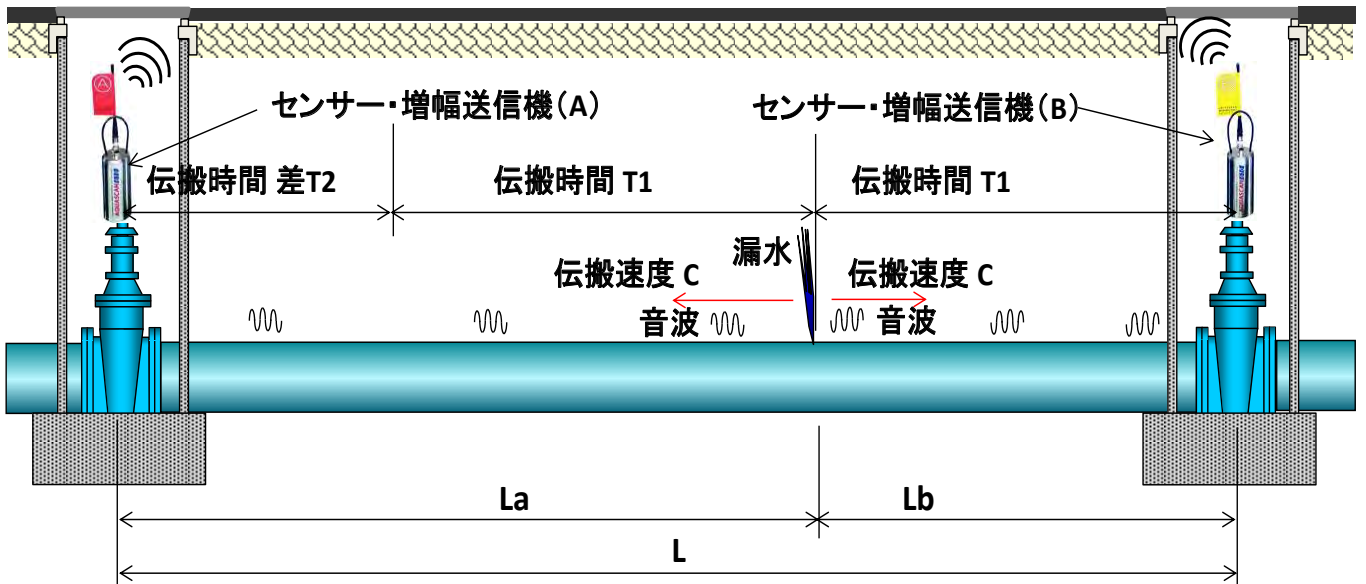


図 1-10 AS610 相関式漏水探索機の原理図

水素式漏水探索機

水素式高性能漏水探索機バリオテック 460  
(ドイツ・ゾ布林社製)



図 1-11 水素式高性能漏水探索機  
バリオテック 460

**【特徴】**

水素 5%、窒素 95%の混合ガスを配管内に注入し、配管から漏れて地表に噴出してくるガスを、プローブを使って検知する。

**【用途】**

区間を区切って管内の水を抜くことができる状況が必要。音聴式漏水探索機や D305 の使用が難しい環境や、メーター以降の建物内の漏水検知に効果的である。

**【製品仕様】**

本体重量：約 1Kg  
寸法：148×57×205mm  
感度：0.1ppm H<sub>2</sub>(大気中)  
ポンプ(本体内蔵)：真空>250mbar  
表示：大画面デジタル数値表示・ブザー(80dB)・信号光

データ保存：8MB  
画面表示：320×240 ピクセル  
インターフェース：USB  
電源：ニッケル水素充電電池もしくはアルカリ単三電池 4 本  
連続使用時間：8 時間以上

販売価格：1,706,400 円(税込)

トレーサーガス式漏洩探知器 9012 XPS System(フジテコム株式会社製)



図 1-12 トレーサーガス式漏洩探知機  
9012 XPS System

**【特徴】**

水素 5%、窒素 95%の混合ガスを配管内に注入し、配管から漏れて地表に噴出してくるガスを、プローブを使って検知する。

**【用途】**


区間を区切って管内の水を抜くことができる状況が必要。車や雑踏の音がある繁華街や日中の漏水探索に用いる。

**【製品仕様】(本体)**

本体重量：2.5kg  
寸法：260×220×95 mm  
感度：0.2ppm H<sub>2</sub>(大気中)  
ポンプ(プローブ装備)：200mbar  
表示：10 段階分割 LED 表示  
・スピーカー：5-1600Hz  
・イヤホン：標準 3.5 mm ジャック 8Ω 以上  
データ保存：不可  
画面表示：不可  
外部出力：不可  
電源：鉛充電電池(ゲル仕様)

連続使用時間：13 時間(20℃)  
6 時間(-20℃)

販売価格：約 4,000,000 円(全装備含む)

	<p><b>【特徴・優位点】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2種のセンサー(ガス感知半導体と熱伝導センサー)により高感度、瞬時に反応。</li> <li>・混合ガスはヘリウムガス方式に比べ安価なので、経済的。</li> <li>・PCに接続することにより取得データの管理、分析が容易。</li> <li>・交換用フィルター標準装備</li> </ul> <p><b>【デメリット】</b></p> <p>水素 5%窒素 95%のガス及びポンプが必要。ガス注入のための閉鎖領域を作ることが必要。</p>	<p><b>【特徴・デメリット】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・水素窒素混合ガスを用いることにより、ヘリウムガス工法に比べ安価かつ迅速に調査を実施できる。</li> <li>・埋設管の管種・口径・深さに関係なく調査できる。</li> <li>・非常に高額である。</li> <li>・水素 5%窒素 95%のガス及びポンプが必要。ガス注入のための閉鎖領域を作ることが必要</li> </ul>
<p>その他周辺機器</p>	<p><b>超音波流量計 F601(ドイツ・フレキシム社製)【提案製品】</b></p> <p><b>【用途】</b></p> <p>夜間における水道水の流量がほぼ漏水量に準ずるという点に着目し、地域毎の夜間流量を計測することで漏水の有無を調査する。漏水探索を行う際の優先順位の確立に有効である。</p> <p><b>【製品仕様】</b></p> <p>測定原理：伝播時差相関式</p> <p>流速：0.01…25m/S</p> <p>再現性：測定値の 0.15%±0.01m/s</p> <p>精度(標準)：測定値の±1.6%±0.01m/s</p> <p>電源：100～240V/50～60Hz もしくは 10.5～15VDC</p> <p>一体型電池(リチウムイオン 7.2V/4.5Ah 寿命&gt;14 時間)</p> <p>応答時間：1s(1チャンネル)、オプション：70ms</p> <p>保護：IP65 防水</p> <p>重量：1.9Kg</p> <p>データロガー：記録容量&gt;100,000 計測値</p> <p>通信インターフェース：RS232/USB</p> <p>電流出力：0/4～20mA</p> <p>出力周波数範囲：0～5kHz</p> <p>販売価格：1,400,000 円(税抜)</p> <p><b>【特徴・優位点】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・水管橋など幾層にも重ねられた塗膜やある程度の錆のある材質にも、的確に流量を検出することができる。</li> <li>・極めて微少な流量変化の補足が可能であり、補足データのロギング機能を備えている。</li> <li>・小型軽量で現場での取り扱いが容易である。</li> </ul>	 <p>図 1-13 超音波流量計 F601</p>

**高精度デジタル圧力計(日本製)KDM30【提案製品】**

**【用途】**

夜間と昼間の水圧変化の推移を現認する。

**【製品仕様】**

測定レンジ：1Mpa

精度：±0.25% F.S.±1deg

耐久性：100 万回サイクル以上

接続ネジサイズ：G1/4

重量：約 180 g (電池含む)

電源：006P(9V)×1 個 もしくは 12VDC/20mA

電池残量表示：Hi/Lo/ピーク表示

出力：アナログ出力 0.5～4.5VDC

電流：最大値 1mA

販売価格：106,900 円(税抜)

**【特徴・優位点】**

- ・通常のデジタル圧力計が水圧変化を現認するのみの機能であるのに対し、データ出力が可能、誤読防止に活用できる。
- ・精度の高いフル4桁LCD表示 バックライト付
- ・表示部および本体部がそれぞれ 330 度回転可能となっており、あらゆる取付位置でも数値を読み取りやすい設計となっている。



図 1-14 高精度デジタル圧力計

## 2. 普及・実証事業の概要

### (1) 事業の目的

インドネシアの無収水削減に資する取り組みとして、本事業では、インドネシアで多く見られる低水圧の給配水管や振動が伝わりにくい樹脂管等の非金属管に対し、従来の漏水探索機とは異なり樹脂管に特化した漏水探索機 D305 及び関連する漏水調査機器を導入し、より効果・効率的な漏水調査を実施することを目的としている。D305 等の提案製品を基にインドネシアに適合した漏水調査手法を C/P 機関と協働で実践・検証し、調査・検証結果を踏まえ提案製品の有用性や優位性について実証を行う。

また、その実証結果を踏まえ、無収水削減対策における漏水調査の位置づけ等を整理した上で、PDAM Tirtanadi に対し漏水調査計画、老朽管更新計画、配水管網の維持管理等にかかる技術移転を行うとともに、当該提案製品を活用した漏水調査手法の紹介や成果の共有等を通じ普及活動を行う。

### (2) 期待される成果

#### ①提案漏水調査機器の実証及び普及

提案漏水調査機器を活用した漏水調査がインドネシアの無収水削減対策として有効なことが実証され、PDAM Tirtanadi 及びインドネシア水道協会と協力し普及活動が展開されることで、インドネシア国内での認知度・信頼度が高まる。

#### ②安定的な水の供給の実現

漏水が減少することにより、水質が改善され適切な水圧での給水が可能となる。

#### ③安全な水供給の実現

断水時の管内負圧減少により漏水箇所から汚水が管内流入することを防ぎ飲用に適した安全な水供給を実現する。

#### ④PDAM Tirtanadi 経営安定化

効果的な漏水調査により無収水量が下がることで断水の頻度が軽減される等水道事業体の運営が健全化、経営の安定化が向上する。

#### ⑤PDAM Tirtanadi 職員に対する無収水対策にかかる技術移転及び意識向上

提案製品を活用した漏水調査手法にかかる PDAM Tirtanadi 職員の能力が向上するとともに、無収水削減対策として漏水調査や配水管網の維持管理の重要性が理解される。

### (3) 事業の実施方法・作業工程

#### ①事業実施の基本方針

北スマトラ州水道公社が水道事業を実施しているメダン市内の配水管網施設よりパイロット地区として7ヶ所を選定する。この地区の漏水調査計画書を作成し、提案製品を活用した漏水調査の他、水道メーター管理、水圧調査、漏水箇所の修理を行い、無収水削減効果を測定する。

漏水調査実施にあたっては、インドネシアの様々な現場環境や条件に合った漏水調査手法を検証することを念頭に、異なる特性・機能を持った漏水調査機器について実証を行う。加えて PDAM Tirtanadi 職員と協同で漏水調査を実施することにより、各漏水調査手法にかかる技術移転を推進するとともに、当該提案製品に対する PDAM Tirtanadi の認知度・信頼度向上を図る。

なお、インドネシアの無収水削減対策として漏水箇所の検出と修理が最重要課題であることから、PDAM Tirtanadi 自身が漏水調査及び配水管維持管理の重要性を認知し実際に実行していくよう働きかけることが重要である。そのような状況から、上述の無収水削減効果の測定結果を踏まえ、IWA

の手法による配水量の分析を通じ既存の無収水削減計画の問題点を抽出するとともに、配水管網整備計画、老朽管更新計画、漏水調査計画書の策定方法等も含めた無収水削減対策にかかる技術移転を普及活動の一環として実施することとする。

## ②事業実施の方法

提案製品の実証活動(技術移転にかかる活動含む)

事前協議	パイロット地区の選定。現状の水道使用量の把握、配水管網整備の把握。流入量の把握。配水管網の図面管理の把握。配水量の分析等のデータ収集。パイロット地区の図面作成とメッシュ図面の作成。各パイロット地区の漏水調査計画書の作成。
事前現地調査	配水管・仕切弁・消火栓等の位置確認。水道メーター(稼働・不稼働・設置無等)の確認。水圧調査。配管図面と現地の位置確認。漏水状況調査。
漏水調査実施	漏水調査計画書に基づき漏水調査機器を使用して調査の実施。 パイロット地区の流入量の把握調査、各水道メーター使用水量調査を行い無収水量の確認作業を実施。 PDAM Tirtanadi 職員に漏水調査機器使用法を伝授しながら OJT 方式で漏水調査の実施、漏水調査作業日報の記載方法についての技術移転。
漏水箇所の修理	早期修理及び漏水調査作業日報の有効利用について指導。 埋設深度・口径・管種・漏水量を測定して漏水調査報告書を作成及び同技術移転。
修理後の再調査	漏水修理後、超音波流量計により流入量の確認と漏水の有無確認調査を実施。同時に水圧調査の実施。
漏水箇所の分析 無収水量の分析	配水量の分析。水道メーター不感水量(器具摩耗に伴う流量計測の誤差)、違法接続水量、行政施設水量、業務用水水量、漏水量の把握。分析表の作成。受水槽からのオーバーフロー水量の把握。その他使用水量の把握。同分析業務の技術移転。
漏水調査計画書 老朽管更新計画書 配水管維持管理	無収水量を削減するための全域漏水調査計画書を作成。 配水管の埋設年度調査・漏水箇所の多い配水管路調査を実施し、老朽管更新計画書を策定。 配水管の維持管理手法についての技術移転。

提案製品の普及活動及び事業展開案の検討方法

PDAM Tirtanadi 職員との協議	漏水探索機の使用方法に関する協議。調査方法について協議。
セミナーの開催	スマトラ州水道公社の管理職及び技術職員を対象にしたセミナーの開催。
ビジネス含む事業展開案の検討	インドネシア国公共事業省への PR と販売。インドネシア国水道協会への PR と販売。水道協会発行の水道誌への無収水削減対策手法の記事報告と PR。漏水調査機器が使用できる各水道事業体の情報収集と PR(個別展開)。

ア. 国内作業(事前) : (2013 年 11 月中旬～2013 年 12 月下旬)

- a. 漏水調査実施に向けた関連資料作成・情報収集作業
  - ・北スマトラ州水道公社職員に対して提案製品の漏水探索機の使用方法について指導するための説明資料を作成
  - ・漏水調査に関する作業日報、漏水修理工事資料、漏水修理整理簿、漏水調査計画書マニュアル及び人員配置についての資料の作成
  - ・普及活動の一環として、日本国内外で実施される水道総会、展示会等の情報収集
- b. 漏水調査実技指導のための準備
  - ・インドネシア国の漏水調査実績の収集
  - ・日本国内の PVC 管導入現場にて、D305 を用いて擬似漏水検出実験を行い、漏水探索方法の検証

イ. 現地作業 : 第 1 次現地調査(2014 年 1 月初旬～2014 年 2 月初旬)

- a. キックオフミーティング
  - ・PDAM Tirtanadi と協議及びセミナー開催
  - ・質問票に基づくヒアリング、資料収集及び現地調査
  - ・パイロット地区の選定 : 3～4 ヶ所選定、事前現地調査、漏水調査、データの分析を行い、各パイロット地区の漏水調査計画書を作成
- b. パイロット地区の漏水調査・分析
  - ・樹脂管に特化した漏水探索機を中心とした漏水調査を実施
  - ・PDAM Tirtanadi 職員へ老朽管／故障機材の交換指示
  - ・PDAM Tirtanadi 職員に調査手法習得のための指導

ウ. 本邦受入活動(2014 年 5 月)

- a. 配水計画総論、無収水対策概論、漏水対策、漏水管理、メーター管理、盗水対策、事業経営、水道料金、マッピングについての講習
- b. 研修施設での漏水調査機器実習、お客様対応実習、検針実習、広報活動、給水装置工事/漏水対策工事の実践

エ. 現地作業 : 第 2 次現地調査(2014 年 6 月)

- a. 第 1 次現地調査フォローアップミーティング
- b. 無収水削減対策セミナー開催(スマトラ島水道事業体管理職対象)、漏水探索技術実技研修
  - ・横浜水道局の事例・PDAM Tirtanadi の事例を挙げ、無収水の削減・継続的漏水調査の必要性を説明
  - ・配水管の図面管理・配水管網整備・老朽管更新計画・漏水調査計画について講習
  - ・漏水探索手法における金属管と PVC 管との違いについて説明
  - ・漏水探索機を使用した OJT 研修
- c. パイロット地区の漏水調査・分析
  - ・樹脂管に特化した漏水探索機を主に使用して漏水調査を実施
  - ・老朽管／故障機材の交換・無収水の削減効果検証
  - ・収集したデータを分析し、漏水調査計画や配水管の維持管理計画などの策定支援を実施



- オ. 現地作業：第3次現地調査(2014年8月下旬～9月中旬)
  - a. 第2次現地調査フォローアップミーティング
  - b. 無収水削減対策セミナー開催(スマトラ島水道事業体管理職対象)、漏水探索技術実技研修(第2次現地調査に同じ)
  - c. パイロット地区の漏水調査・分析(第2次現地調査に同じ)
  
- カ. 現地作業：第4次現地調査(2015年2月)
  - ・第3次現地調査フォローアップミーティング
  - ・パイロット地区の漏水調査・分析(第3回現地調査に同じ)
  - ・成果の発表・ワークショップ開催
  - ・関係者を集めて成果の発表と PDAM Tirtanadi 職員の評価を実施
  
- キ. 国内作業：(2014年2月中旬～2015年5月下旬)
  - a. 事業結果取りまとめ
  - b. 月報の作成  
事業実施中は、毎月月報を JICA へ提出する。
  - c. 進捗報告書作成  
事業実施中は、半期毎に進捗報告書を JICA へ提出する。
  - d. 業務完了報告書(案)作成  
現地の実証結果を業務完了報告書(案)として取りまとめ、事業完了予定の2か月前を目途に JICA へ提出する。
  - e. 業務完了報告書(最終成果物)作成  
業務完了報告書(案)の協議結果を踏まえ、業務完了報告書を作成し、JICA へ提出する。

以下(次頁)、図2-1のとおり、業務フローを示す。

調査項目	2013		2014												2015					
		11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5
無収水削減対策情報収集・計画立案		■	■																	
レイアウト・人員配置計画等		■	■																	
無収水削減対策セミナー				■					■			■					■			
配水管網データ収集				■					■			■					■			
漏水調査計画書作成				■					■			■					■			
老朽管更新計画書作成				■					■			■					■			
配水管網維持管理計画書作成				■					■			■					■			
パイロット地区：3~4地区選定				■					■			■					■			
パイロット地区：現地調査				■					■			■					■			
パイロット地区：水道メーター調査				■					■			■					■			
D305：給配水管漏水調査実施				■					■			■					■			
漏水調査結果：データ分析				■					■			■					■			
漏水箇所修理手法・漏水量計測				■					■			■					■			
パイロット内流入量調査・使用水量調査				■					■			■					■			
パイロット地区：配水量分析				■					■			■					■			
職員による漏水調査計画書作成				■					■			■					■			
無収水対策セミナー実施												■								
漏水修理後の漏水調査実施				■					■			■					■			
ビジネス展開業務				■					■			■					■			
総合報告書セミナー実施									■			■					■			
報告書作成・資料収集・データ管理						■						■							■	
最終報告書作成																			■	■
本邦研修									■											

図 2-1 作業工程計画

現地作業 (実績) ■ 現地作業 (予定) ■

国内作業 (実績) ■ 国内作業 (予定) ■

(4) 投入(要員、機材、相手側投入、その他)

①要員

第2・3次日本側要員は（次頁）表2-1の通りである。

表 2-1 要員計画

担当業務	氏名	所属先	予定	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	人・日計		
			実績																			現地	国内
業務主任	渡邊 研一	グッドマン	予定			15									14							0.97	0.00
			実績	48		16	13	13	7		5	5			17	9	9		12	7	1	12	1.33
技 術	渡邊 尚輝	グッドマン	予定							28										28		1.87	0.00
			実績								2											15	0.00
技 術	久貝 洋	グッドマン	予定																			0.00	0.00
			実績									28											0.93
技 術	塩野 拓也	グッドマン	予定																			0.00	0.00
			実績																	28			0.93
チーフアドバイザー	豊田 徹	YWC*	予定			14	10			14					14					10	14	1.87	1.00
			実績			15	2	3	1		5	14			14	3	1		1		13	2	1.87
無収水削減 老朽管更新計画	中之 賢治	YWC	予定			28	10			28					28					10	28	3.77	1.00
			実績			28	2		1	7	28	5	2	28		2		1			28		3.73
漏水調査	松尾 圭将	YWC	予定			28	10			28					28					10	28	3.73	1.00
			実績			28	1				3	28			28	5	5				28	6	3.73
受注企業 人・月計 (予定)																					2.84	0.00	
受注企業 人・月計 (実績)																					3.19	7.55	
外部人材 人・月計 (予定)																					9.37	3.00	
外部人材 人・月計 (実績)																					9.33	2.90	
人・月計 (予定)																					12.17	3.00	
人・月計 (実績)																					12.52	10.45	

\*YWC：横浜ウォーター株式会社

15 現地日数(予定)    16 現地日数(実績)    10 国内日数(予定)    12 国内日数(実績)

## ②機材

日本側の投入機材は以下の通り。

表 2-2 投入機材

	機材名	型番	数量	納入年月	設置先
1.	樹脂管用漏水探索・配管路探索機 PVC ロケーター	D305	1 5	2014.1 2014.6	PDAM Tirtanadi
2.	相関式漏水探索機アクアスキャン 610 ハイドロフォン付	AS610	1	2014.1	PDAM Tirtanadi
3.	水中マイク ハイドロフォン(2 個/組)	HP	1	2015.2.	PDAM Tirtanadi
4.	小型軽量漏水探索機ポケットフォン	AS3PM	1 1	2014.1 2014.6	PDAM Tirtanadi
5.	水素式超高性能漏水探索機	VT460	1	2014.6	PDAM Tirtanadi
6.	小型音聴式漏水探索機	ST04	10	2014.6	PDAM Tirtanadi
7.	超音波流量計	F601	1	2014.6	PDAM Tirtanadi
8.	高精度デジタル圧力計	KDM30	1	2014.6	PDAM Tirtanadi

## ③PDAM Tirtanadi の投入

- ・ワークスペースとして 10m×10m の部屋の提供と、机・椅子 5 セット、コピー機、漏水調査備品庫等の提供。
- ・漏水調査実施要員として 22 名。(PDAM Tirtanadi 漏水管理課(Water Losses Control Division)職員及び出先職員含む)
- ・漏水発見後ただちに修理するための修理業者。



協定を締結し、北スマトラ州政府所掌のもと Deli Serdang・ Samosir・Toba Samosir, Tapanuli Tengah・ Nias Selatan・Tapanuli Selatan の経営を任されることになった。この協力体制により、安全な水の供給サービス改善が期待されている。

なお、インドネシアには、インドネシア水道協会の組織があり、国全体の水道に関する基本的な運営管理、維持管理、水道管等の基準を制定している。

PDAM Tirtanadi では、安全な水の安定供給及び水資源の有効活用のため、無収水を削減すること、エネルギーの有効活用のため水圧の適正化を図ること、適正な配水管網の維持管理を行うことが非常に重要な課題となっている。

当該地域の無収水率は 2010 年時点で 27.98%(中期計画データ)と高く、無収水削減が一つの大きな課題となっている。漏水が多発している市内の配水管には、PVC 管が多く使用されている。市内に埋設されている PVC 管は、埋設後 20 年以上経過しているものも相当数あると推測されており(PVC 管の耐用年数は日本では 20 年とされている)、水道管の継手部分、亀裂箇所から漏水が発生しているのが現状である。(PVC 管、鋼管、ダクタイル管の等管種の記述はあるが、配水管延長等、詳細データは中期計画に記述がない。)現在使用している金属管用漏水調査機器では探知に熟練を要し、漏水箇所を発見するには職員の個人差が大きく影響し、非常に効率の悪い業務となっている。特に、北スマトラ水道公社職員は時代とともに若返りの傾向にあり、経験、ノウハウ、技術が不十分であるため、人材の育成は非常に重要な課題となっている。

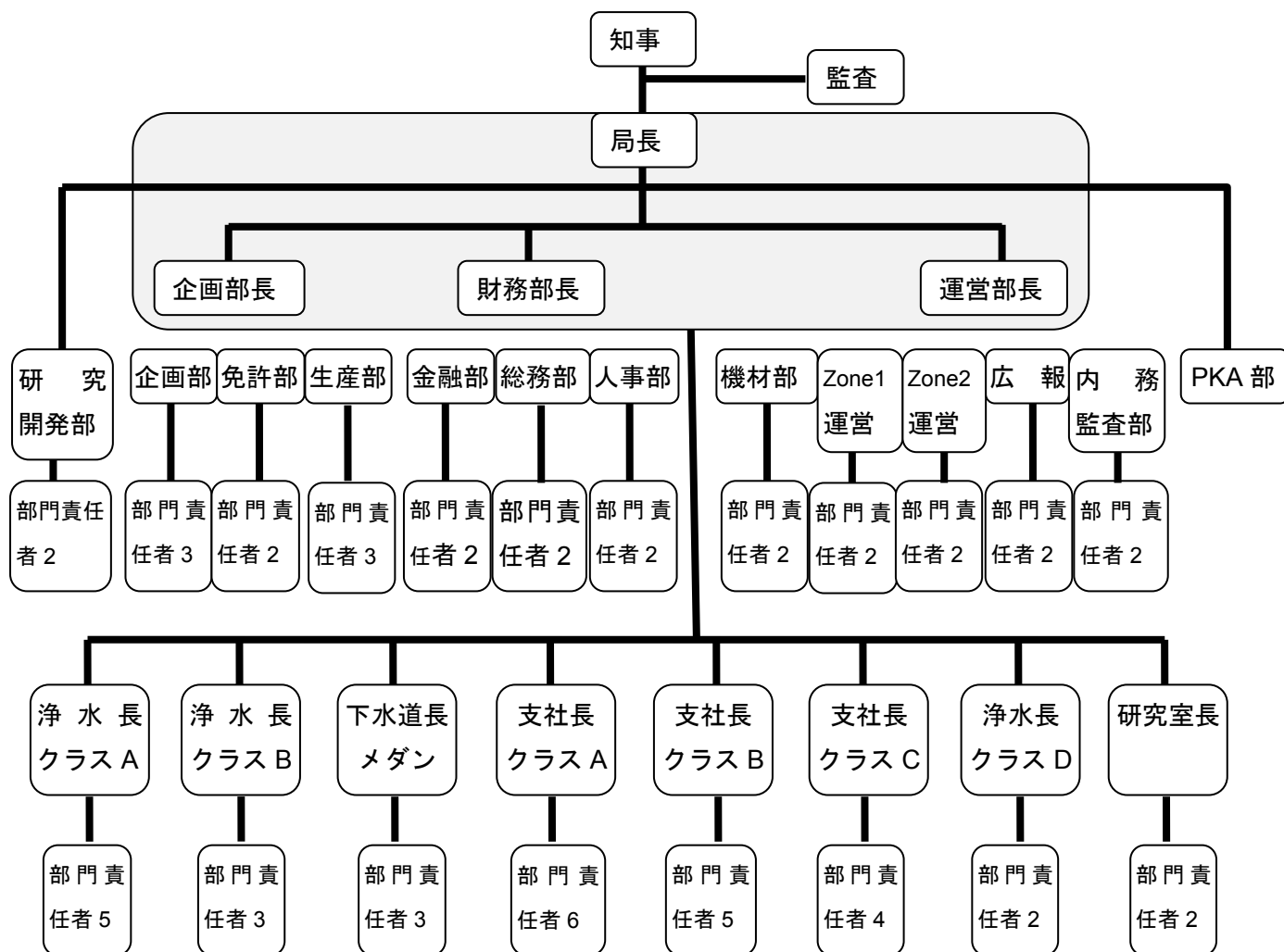


図 2-3 PDAM Tirtanadi 組織図

### 3. 普及・実証事業の実績

#### (1) 活動項目ごとの内容と成果

##### ①国内作業（2013年11月～12月）

##### ア. 漏水調査実施に向けた関連資料作成・情報収集作業

PDAM Tirtanadi 職員に対して本事業の概要及び各漏水調査機器の特徴や取扱方法に関する説明資料を作成した。

##### イ. 漏水調査実技指導するための準備

国内でPVC管を利用している現場（千葉県・神奈川県）にてD305を使用した擬似漏水検出試験を実施、特に難しい土壌・環境における漏水探索方法の検証を行った。

##### ②現地作業：第1回漏水調査（2014年1月13日～2014年2月9日）

第1回漏水調査では、無収水削減と漏水調査の必要性を職員に理解してもらい、調査機材取扱い方法及び配管情報のデータ収集管理の技術移転を目的として実施した。

表 3-1 第1回漏水調査日程

日付	業務内容	備考
1月13日(月)	移動日：羽田→シンガポール→メダン	
1月14日(火)	団内協議、市内水道設備調査	
1月15日(水)	表敬訪問、事業内容・持込機器紹介 在日本大使館メダン総領事館表敬訪問	
1月16日(木)	漏水調査の概要説明とデータ収集、資料作成	
1月17日(金)	資料作成、キックオフミーティング（局長以下20名）	
1月18日(土)	団内協議、JICA インドネシア事務所、水道協会資料作成	
1月19日(日)	JICA インドネシア事務所、水道協会資料作成	
1月20日(月)	JICA インドネシア事務所、水道協会協議（ジャカルタ） Amplas 支部現地調査	
1月21日(火)	Amplas 支部でのOJT研修 持込機器の説明及び講義	
1月22日(水)	漏水調査機器説明資料作成 AS610及びハイドロフォンに関する講義	
1月23日(木)	Amplas 支部での漏水調査実証（AS610及びハイドロフォン） 調査資料作成	
1月24日(金)	来週以降調査スケジュール協議、漏水調査手法資料作成	
1月25日(土)	Belawan 地区現地調査	
1月26日(日)	データ収集整理、報告書作成	
1月27日(月)	Denai 地区での実証及びOJT	豊田帰国
1月28日(火)	Denai 地区での実証及びOJT	渡邊帰国
1月29日(水)	Denai 地区での実証及びOJT、全体スケジュール計画協議	
1月30日(木)	Denai 地区 Section 4 での実証及びOJT	
1月31日(金)	シボランゲ水源地視察	



2月1日(土)	漏水調査報告書及び第1回目報告書作成	
2月2日(日)	漏水調査報告書及び第1回目報告書作成	
2月3日(月)	漏水調査手法、機器の維持管理等協議及び Deritua 地区現地調査	
2月4日(火)	Deritua 地区での実証及び OJT	
2月5日(水)	Sunggal 地区での実証及び OJT	
2月6日(木)	Sunggal 地区の漏水調査	
2月7日(金)	局長への第1回目の実証業務報告及び協議	
2月8日(土)	第1回目報告書及び帰国報告書作成	
2月9日(日)	移動日：メダン→シンガポール→羽田	

ア. 漏水調査のパイロット地区の選定

パイロット地区の選定は、無収水削減対策を実施している漏水管理課の Mr. POTMATUA HARAHAP 課長と協議の上、メダン市全 13 支所で DMA が形成されている 64 地区の内、無収水率の高い地区及び漏水箇所が不明な個所を中心に表 3-1 の 7 地区とした。

表 3-2 パイロット地区

	地区名	無収水率 (%)	配水区域数 (Section)
1	Amplas 支所 Comp Rivier 地区	33%	8
2	Medan Denai 支所 Comp Menteng 地区	33%	4
3	Sunggal 支所 Comp Graha Sunggal 地区	31%	10
4	Medan Labuhan 支所 Comp Kpum 地区	43%	9
5	Delitua 支所 Comp PutriDeli 地区	29%	7
6	Medan Kota 支所 Comp Maribu 地区	67%	3
7	Medan Kota 支所 Bogor 地区	35%	9

イ. 漏水調査前の確認作業

現場での漏水調査に先立ち、効率的な調査を行うため、漏水管理課職員と以下の表の 6 点について確認を行った。

表 3-3 漏水調査前の確認事項一覧

確認事項	確認結果
A)各 DMA の図面確認 (流量計、仕切弁、配水管、給水管、管種、口径、その他の情報)	7 パイロット地区に関しては図面及び配水管路情報(管種、口径、バルブの位置)はまとめてられており、流量計も正しく計測されていることを確認。一方で、給水管の情報が全く整備されていないこと、配水管情報の更新が不十分であることを確認。漏水調査を実施するにあたり、図面情報と現地管路情報との整合がとれているか確認が必要。
b) DMA の流入地点の流量計の作	PDAM Tirtanadi はメダン市内で 64 の DMA を構築しているが、

動状態	複雑な配水管網を抱えているメダン市中心部ではDMAが構築できていないことを確認。図面情報と現地管路情報との整合性を確認したところ、7パイロット地区に関しては、流入箇所は1ヶ所、流入箇所には流量計が設置され正常稼働していることを確認。
c) DMA 内への流入点の確認及び給水区域の配水区域化状態（配水区域流入点のバルブの設置状況）	対応するバルブを適宜開閉し水の流入を制御することにより、DMA 内で各配水区域を区切ることが可能であることを確認。
d) 給水メーターの管理	給水メーターはインドネシア製が使用され、5年周期で更新されている。更新時に精度検定を行い、正常に計測できることを確認しており、給水量測定に問題はない。精度検定を行うための基準タンクの点検も年1回実施していることからメーターの信頼性は確保されていると考えられる。 しかし、メーター異常を発見した場合日本では通常、検針員が水道使用者又は水道局に異常を通知し、メーター故障または漏水の対処を行うが、PDAM Tirtanadi ではその対処について規定がないことを確認。（Comp Graha Sunggal 地区で漏水調査実施中に故障メーターを発見、現地スタッフによると、設置したメーターの稼働確認は行われていないとの説明。）
e) DMA 内の水圧調査実施の有無及びそのデータ化	ステップテストなど調査を行う際、水圧計をセットし流入圧の計測は行われているが、計測値についてデータ化はされていなかった。
f) 夜間最少流量（MNF）調査の実施状況 <sup>1</sup>	超音波流量計を備えており、簡易的な夜間最少流量の測定は行われていることを確認。

ここでの確認を踏まえ、管路の口径・延長・材質、漏水の履歴（場所、管の口径・材質、漏水の状況）などのデータ化については老朽管改良計画や調査計画に必要なことを説明し、データ化を促し PDAM Tirtanadi もこれを理解した。今回調査において全ての管路について漏水調査することは困難なため、PDAM Tirtanadi と協議の結果、ステップテスト<sup>2</sup>で各配水区域に優先順位を付け、優先順位の高い配水区域から漏水調査を行うことで合意した。

#### ウ. ステップテスト

以下の実施手順に従い、Medan Denai 支所 Comp Menteng 地区と Delitua 支所 Comp PutriDeli 地区の二つの DMA でステップテストを実施した。なお、AMPLAS 支所 Comp Rivier 地区では PDAM Tirtanadi の方ですでにステップテストを行っていたため漏水調査のみを行った。

- a. 図面情報と現地管路状況の照合
- b. 各配水区域を断水するためのバルブの有無を確認
- c. 夜間、水流が安定したところで区域全体に流れ込む流量を記録

<sup>1</sup> 夜間最小流量調査とは夜間使用水量の少ない時間帯（一般的に午前1時から午前4時）に測定区画内を断水状態にし、区画外より一方通水で電磁流量計、超音波流量計などを用いて水を送水することにより、区画内へ流入する流量を測定する。この流量は、漏水量と使用量が含まれるため、漏水エリアを推測するための情報となる。

<sup>2</sup> 夜間、使用水量が少ない時間帯に DMA へ流入する流量を計測しながら、各 Section の流入を遮断することで、各 Section の漏水量の多少を推定する手法。

- d. バルブを閉めて一部の配水区域を断水
- e. 各配水区域で c)、d) を繰り返し、各配水区域への流入量を把握するとともに漏水量の多少を推定し、各配水区域の漏水調査の優先順位を決定

エ. ステップテスト結果

a. Medan Denai 支所 Comp Menteng 地区

Medan Denai 支所 Comp Menteng 地区では図 3-2 に色分けしてあるように DMA を 4 つの配水区域 (Section) に分けている。図 3-1 は DMA への流入量を表示したものである。同図より、配水区域 2 を断水したときに流入量が 3.7 (ℓ/秒) 減少していることがわかり、配水区域 2 の漏水量及び使用水量が最も多いことを示している。DMA 内で最も漏水量が多いと推測される配水区域 2 を、重点的に調査することとした。

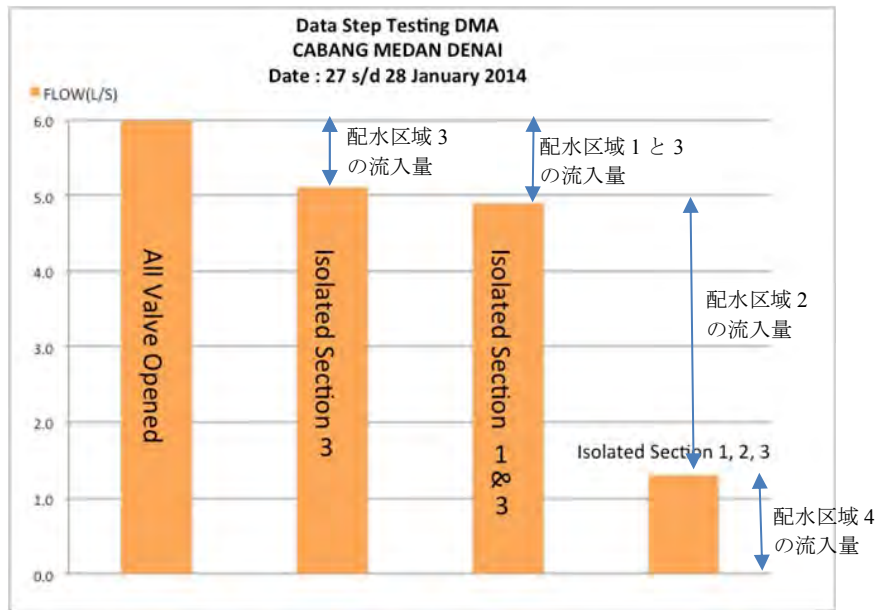


図 3-1 Comp Menteng 地区ステップテスト結果



図 3-2 Comp Menteng 地区配水区域位置図

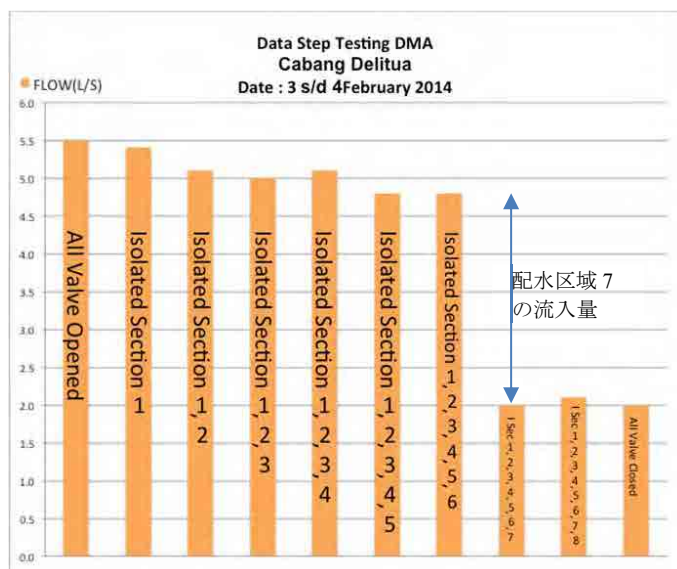


図 3-3 Comp Putri Deli 地区ステップテスト結果

b. Delitua 支所 Comp PutriDeli 地区

Delitua 支所 Comp PutriDeli 地区では、DMA を 9 つの配水区域に分けている。

図 3-4 は DMA への流入量を表示したものである。図 3-4 より、配水区域 7 を断水したときに流入量が 2.8 (ℓ/秒) 減少していることがわかり、配水区域 7 の漏水量及び使用水量が最も多いことを示している。DMA 内で最も漏水量が多と推測される配水区域 7 を、重点的に調査することとした。

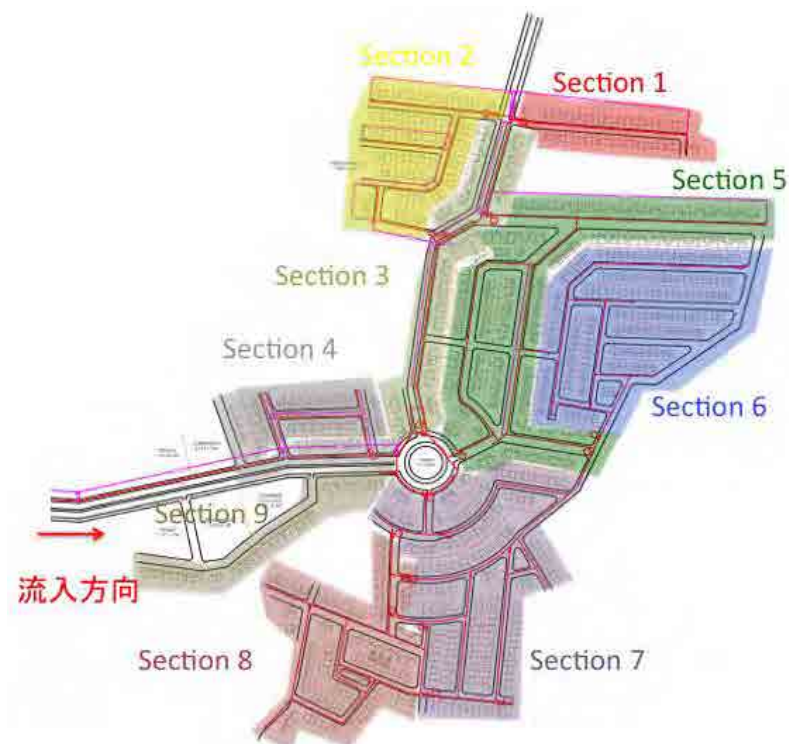


図 3-4 Comp PutriDeli 地区配水区域 (Section) 位置図

#### オ. 漏水調査手法

ステップテスト結果を考慮し、Medan Denai 支所 Comp MentAng 地区においては配水区域 2 を、DlituA 支所 Comp Putri Deli 地区においては配水区域 7 を重点的に漏水調査した。また過去に PDAM Tirtanadi が実地されたステップテストに基づき、Amplas 支所 Comp RivierA 地区においても漏水調査を行った。当該地区では配水管に PVC 管が使用されており、以下の機器を使用した漏水調査が最適と判断し、以下の機種を使用し漏水調査実証事業を実施した。

- ・樹脂管漏水探索・配管探索機 D305
- ・小型軽量漏水探索機ポケットフォン
- ・アクアスキャン AS610

対象配水区域で 50m 程度の配水管の両端（仕切弁、給水管、水道メーターなど）に AS610 相関式漏水探索器の発信機（発信機 A 及び発信機 B）を取り付け、漏水と思われる波形が出るまで順次発信機を取り付けて調査した。AS610 の相関器で漏水の波形が確認されたら、近隣の仕切弁、水道メーター、水道管（GP 管）などの金属部分に D305 送信機のプラス端子を接続、マイナス端子は地面に差してアースをとり、受信機で送信機からの信号音を追尾しながら漏水箇所の確認を行った。



図 3-5 D305 で絞り込みポケットフォンで漏水地点を検出

D305 で漏水位置を特定した後、正確な位置確認のためポケットフォンで漏水音を確認した。最も漏水音の高い場所を掘削し、同行修理業者が漏水個所の修理を行った。D305 探査範囲は埋設深度 4m であるが、メダン市内の配水管埋設深度は 1m 程度と浅く、当該機器を使用した漏水調査には問題は見られなかった。

#### カ. 漏水調査結果

表 3-3 は当初選定されたパイロット地区 7 ヶ所のうち 5 ヶ所の漏水調査を実施した結果である。SunngAl 支所 Comp Graha Sunggal 地区及び Medan Kota 支所 Comp Maribu 地区については、今回は日数が限られていたためステップテストを事前に行うことができなかった。本来ならば事前にステップテストを行い、優先度を定めた上で調査すべきであるが、PDAM Tirtanadi の強い要請があったため漏水調査のみ行った。また、雨天による漏水調査の延期やイスラム教の習慣である金曜礼拝、PDAM Tirtanadi 職員のモチベーションの低さなどが影響し、予定していた Medan Labuhan 支所 Comp Kpum 地区、Medan Kota 支所 Bogor 地区についてはステップテストも漏水調査も行うことができなかった。

表 3-4 漏水発見箇所数

	地区名	給水 戸数	無収水 率 (%)	配水区域数 (Section)	漏水発見 箇所数
1	Amplas 支所 Comp Rivier 地区	449	33%	8	2
2	Medan Denai 支所 Comp Menteng 地区	630	33%	4	13
3	Sunggal 支所 Comp Graha Sunggal 地区	265	31%	10	0
4	Medan Labuhan 支所 Comp Kpum 地区	698	43%	9	-
5	Delitua 支所 Comp PutriDeli 地区	261	29%	7	2
6	Medan Kota 支所 Comp Maribu 地区	345	67%	3	2
7	Medan Kota 支所 Bogol 地区	500	35%	9	-

※全地区 24 時間給水

a .Amplas 支所 Comp Rivier 地区漏水調査(2014 年 1 月 20・21・23 日)

5 年前、PDAM Tirtanadi 職員がステップテストを実施、この地区内に漏水があることを確認し、所有している金属管用漏水調査機器を使用して漏水調査を行ったが、漏水音が伝わりにくい PVC 管であり、また水圧が 0.8bAr と低いため漏水箇所を特定できていなかった。

しかし、今回の漏水調査では上述の漏水調査手法により約 2 時間で漏水箇所を特定することができた。過去に検出できなかった理由として、PVC 配水管継手部からの漏水で、開口部が大きく水道（みずみち）ができていたため、漏水音が配管に伝わらず従来の方法では検出できなかったことが考えられる。他にも給水管からの漏水を発見し合計 2ヶ所の漏水を発見した。この区域の無収水率は、今次調査前（2014 年 1 月時点）では 33%であったが、調査後（2014 年 5 月末計測時）には 6.68%と大きく減少した。



図 3-6 Amplas 地区の水圧調査  
(0.8MPa)



図 3-7 口径 3 インチ PVC 管ソケット  
部からの漏水

	漏水タイプ	漏水箇所	流出量ℓ/分	流出量m <sup>3</sup> /月
配水管	地下漏水	①	60.9	2,630
給水管	地下漏水	②	6.9	300
合計			67.8	2,930

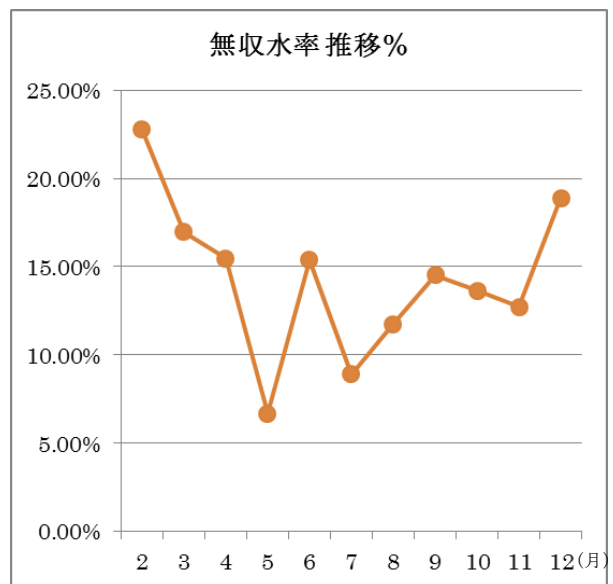
表 3-5 Amplas 支所 Comp Rivier 地区漏水調査結果



図 3-8 Amplas 支所 Comp Riviera 地区 : DMA 及び配水区域位置図

表 3-6 Amplas 支所 Comp Rivier 地区流入量・使用水量・無収水率の推移

月	給水戸数	生産量	消費量	無収水	
				m <sup>3</sup>	%
2	454	13,223	10,211	3,012	22.78%
3	454	11,988	9,955	2,033	16.96%
4	454	11,792	9,968	1,824	15.47%
5	456	10,631	9,921	710	6.68%
6	456	11,723	9,921	1,802	15.37%
7	459	10,631	9,684	947	8.91%
8	482	12,177	10,745	1,432	11.76%
9	482	12,152	10,385	1,767	14.54%
10	483	12,195	10,532	1,663	13.64%
11	485	12,172	10,622	1,550	12.73%
12	485	12,023	9,751	2,272	18.90%



b. Medan Denai 支所 Comp Menteng 地区漏水調査(2014 年 1 月 27 日～30 日)

事前のステップテストにより無収水量の確認業務を実施した結果、無収水量が多かった配水区域 4 を対象に漏水調査を実施し、配水管の漏水 4 ヶ所、給水管の漏水箇所 9 ヶ所合計 13 ヶ所の漏水を発見した。



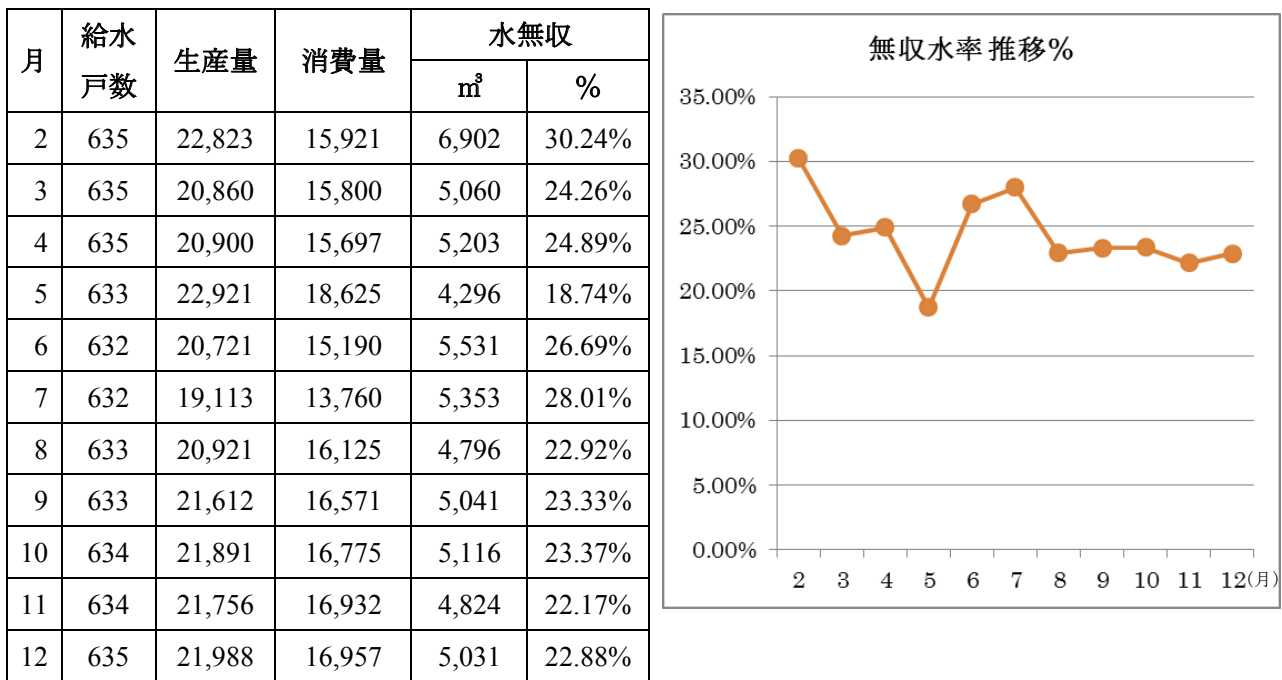
図 3-9 Medan Denai 支所 Comp Menteng 地区 : DMA 及び配水区域位置図

表 3-7 Medan Denai 支所 Comp Menteng 地区漏水調査結果

	漏水タイプ	漏水箇所	流出量ℓ/分	流出量m <sup>3</sup> /月
配水管	地下漏水	①	11.6	500
		②	11.6	500
		③	11.6	500
給水管	地下漏水	④	1	45
		⑤	1	45
		⑥	1	45
	地上漏水	⑦	1	45
		⑧	1	45
		⑨	1	45
		⑩	1	45
		⑪	1	45
		⑫	1	45
		⑬	0.6	24
合計			44.4	1,929



表 3-8 Medan Denai 支所 Comp Menteng 地区流入量・使用水量・無収水率の推移



c. Sunggal 支所 Comp Graha Sunggal 地区漏水調査(2014年2月5・6日)

配水管及び給水管の漏水調査を行ったが、漏水箇所は検出できなかった。無収水の原因として違法接続・水道メーターの不感水量もしくは故障も考えられるので今後原因の究明が必要である。



図 3-10 Sunggal 支所 Comp Graha Sunggal 地区 : DMA 及び配水区域位置図

d. Delitua 支所 Comp PutriDeli 地区漏水調査(2014年2月3日)

Medan Denai 地区と同様に作業を実施した結果、PutriDeli 地区で給水管からの漏水 2ヶ所の漏水を発見した。

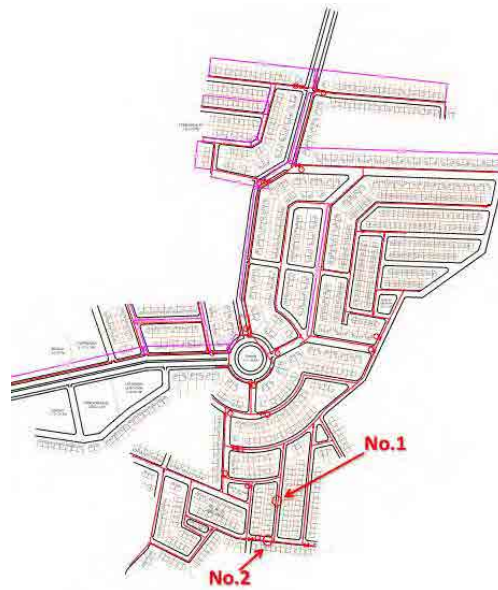


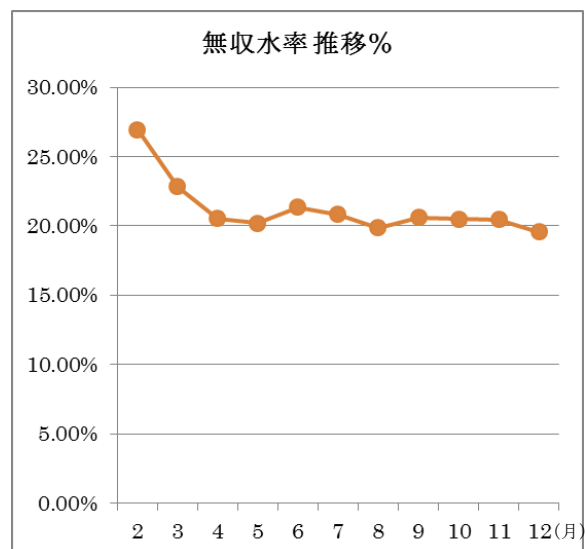
図 3-11 Delitua 支所 Comp PutriDeli 地区漏水位置図

表 3-9 Delitua 支所 Comp PutriDeli 地区漏水調査結果

	漏水タイプ	漏水箇所	流出量ℓ/分	流出量m <sup>3</sup> /月
給水管	地下漏水	④	5.8	250
		⑤	6.6	283
合計			12.4	533

表 3-10 Delitua 支所 Comp PutriDeli 地区流入量・使用水量・無収水率の推移

月	給水戸数	生産量	消費量	無収水	
				m <sup>3</sup>	%
2	316	7,100	5,187	1,913	26.94%
3	316	6,589	5,085	1,504	22.83%
4	316	6,780	5,387	1,393	20.55%
5	316	6,765	5,398	1,367	20.21%
6	316	8,182	6,434	1,748	21.36%
7	316	7,875	6,234	1,641	20.84%
8	316	7,901	6,330	1,571	19.88%
9	317	7,998	6,349	1,649	20.62%
10	317	7,987	6,351	1,636	20.48%
11	317	7,995	6,359	1,636	20.46%
12	318	7,902	6,355	1,547	19.58%



e. Medan Kota 支所 Comp Maribu 地区漏水調査(2014年2月6日)

この地区は商店街もあることから夜間最少流量測定スケジュールと合わせて、夜間地下漏水調査を実施した。最少流量計測する区域 (Sector) ごとに流量計測と漏水調査を実施したところ、地下配水管とバルブから計2ヶ所の漏水箇所を検出した。



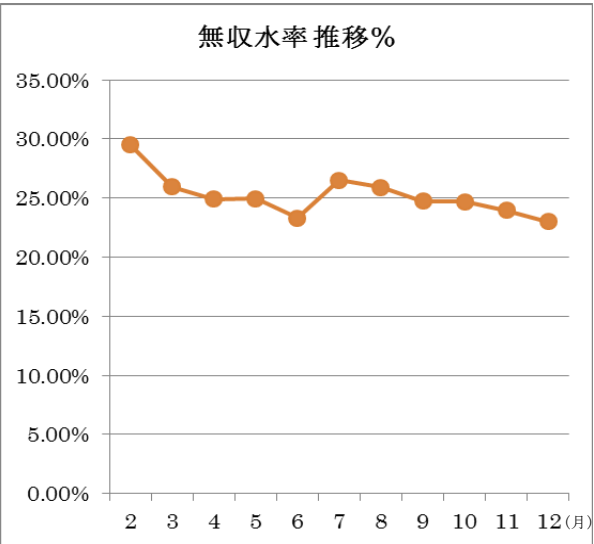
図 3-12 Medan Kota 支所 Comp Maribu 地区漏水位置図

表 3-11 Medan Kota 支所 Comp Maribu 地区漏水調査結果

	漏水タイプ	漏水箇所	流出量ℓ/分	流出量m <sup>3</sup> /月
配水管	地下漏水	①	81	3,500
	地上漏水	③	16.2	700
合計			97.2	4,200

表 3-12 Medan Kota 支所 Comp Maribu 地区流入量・使用水量・無収水率の推移

月	給水戸数	生産量	消費量	無収水	
				m <sup>3</sup>	%
2	460	32,521	22,925	9,596	29.51%
3	460	30,022	22,230	7,792	25.95%
4	460	29,742	22,337	7,405	24.90%
5	460	29,911	22,441	7,470	24.97%
6	460	30,011	23,011	7,000	23.32%
7	460	30,555	22,459	8,096	26.50%
8	460	31,105	23,045	8,060	25.91%
9	461	31,134	23,427	7,707	24.75%
10	461	31,133	23,451	7,682	24.67%
11	461	31,159	23,695	7,464	23.95%
12	461	31,147	23,987	7,160	22.99%



キ. 評価

PDAM Tirtanadi は、鉄管探知機、相関式漏水探知機、音聴式漏水探索機及び超音波流量計を保持している。給水地区を管理するため DMA を構築しているがまだ 64 地区に留まり、詳しい無収水率の把握はできていない。配水管路に PVC 管が多く使用され、また水圧も 0.03 ～ 0.19MPa と低く漏水音が小さい、伝わりにくいなど、音に頼る従来の漏水探索機では、地下漏水の発見は困難であった。

今回の漏水調査で使用した D305 は漏水音を拾うものではなく、電磁波を利用した探索機であるため、漏水音が小さい状況においても、漏水箇所の発見、PVC 管の位置の特定が可能であった。

また、AS610 は PDAM Tirtanadi 所有の相関式漏水探知機と原理は同じであるが、発信機の電波強度が強くより長距離での相関が可能で、また水道管中の水に伝わる漏水音を直接拾うことができるハイドロフォンと組み合わせることでより確実な探知ができた。

小型軽量漏水探索機にはバンドフィルターがあり、漏水で管が振動する固有周波数を含む狭い帯域で音を拾うため、PDAM Tirtanadi 所有の音調式漏水探索機よりも探査が容易である。また、AS610、D305、小型軽量漏水探索機と広いエリアからピンポイントの漏水箇所へと調査範囲を狭めていくことにより漏水調査の効率化を図ることができた。

今回は PDAM Tirtanadi に対して OJT 研修を兼ねつつ漏水調査を行ったため、凡その調査量としては、地上漏水（小型軽量漏水探索器使用）が 2 人 1 組で 1 日 500m 前後、地下漏水（D305・AS610 使用）が 3 人 1 組で 1 日約 1.0Km～1.5Km 程度であった。



③本邦受入活動(2014年5月19日～5月28日)

本邦受入活動として、PDAM Tirtanadi の職員 5 名が参加して樹脂管に特化した樹脂管用漏水探索・配管路探索器 PVC ロケーター D305、相関式漏水探索器アクアスキャン 610、小型軽量漏水探索機ポケットフォン、小型音聴式漏水探索機ステットホン 04、超音波流量計の理論と取り扱い方について講義、また横浜市水道局管路研修施設を使用しての実技と工事現場での埋設方法、安全管理等について実習を行った。活動概要は以下のとおり。

ア. 本邦受入活動参加者

表 3-13 本邦受入活動 PDAM Tirtanadi 参加者

氏 名	役 職	
Mr. MANGINDANG RITONGA	Operation Director 技術部長兼局長	
Mr. DELVIYANDRI	Head Division of Technical Equipment 技術資器材課長	
Mr. HOTMA TUA HARAHAP	Head Division of Leakage management 漏水管理課長	

Mr. AKHMAD SAMARI	Head Section of Pipeline, Medan City Branch メダン市配水管理係長	
Mr. AHMAD SENTOSA SIREGAR	Head Section of Pipeline, Cemara Branch メダン市配水管理係長	

## イ. 活動内容

### a. 全体趣旨

本活動は、PDAM Tirtanadi 水道公社のカウンターパート職員を日本に招へいし、講義・実習を通して彼らの無収水削減対策に係る知識・技術の向上を図り、漏水探索をはじめとする今後の無収水削減対策及び配水管網維持管理の普及・実証事業活動に反映されることを目的とする。

### b. 活動目標

- ・漏水調査機器ごとの特長を理解、目的・周辺環境・配管材質に応じて最適に活用する技術の習得
- ・配管修繕技術の習得
- ・無収水率削減対策に係る幅広い技術及び実務の習得
- ・将来の水道事業経営にむけて、無収水削減の経済的効果について学習

### c. 研修日程・カリキュラム

表 3-14 本邦受入活動カリキュラム一覧

日時 形態	項目	研修内容・狙いと成果・課題
5/20(火)PM 講義	コースオリエンテーション(横浜市水道事業概要/研修の狙い)	<b>【研修内容・狙い】</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・水源から浄水場までの水の流れ、配水管理・水質管理について概要説明。</li> <li>・横浜市水道事業 126 年の変遷を通じ、同市の水道システムの現状を説明</li> </ul>
		<b>【成果・課題】</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ PDAM Tirtanadi の現状と課題について、以下を確認した。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・メーターボックス設置状況改善について</li> <li>・水道メーターの適正/維持管理について</li> <li>・漏水調査/漏水修理・盗水・節水について</li> </ul> </li> <li>➢ 横浜での水不足対策・停水から通水におけるコスト・濁水を流した後の処理方法等にかかる疑問点が解消した。</li> </ul>

5/21(水) 講義	漏水調査機	<p><b>【研修内容・狙い】</b></p> <p>漏水調査方法の体系を大きく3段階に分け、各機材の特長を説明。それぞれの機種についての特性を理解する。不明点の解決。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・広域調査：管理区域内のバルブ上にロガーを常時設置して定期的に無線でデータ収集を行い、パソコンを使い分析、広域の漏水発生状況を監視するシステム</li> <li>・範囲調査：AS610とハイドロフォンを使用して、漏水箇所の絞り込みを行う調査方法。</li> <li>・特定調査：ポケットフォンやD305を使用して漏水箇所を特定する調査方法。</li> </ul>
		<p><b>【成果・課題】</b></p> <p>漏水探索機の全体像について把握できた。</p> <p>AS610についてフィルターの使用方法・設定・結果解析法について理解を深め、特に波形の解釈といった操作上不明なところが解消された。</p> <p>提案機器以外（ゾーンスキャン820・オゾンガス式漏水探索機）の機材が認知された。</p>
5/22(木) 講義	無収水対策	<p><b>【研修内容・狙い】</b></p> <p>横浜の配水ブロックシステムによる流量・水圧コントロールを紹介しDMA（メーター管理区域）での水量管理の習得。</p> <p>配水量分析についてIWA（世界水協会）が推奨する手法を紹介し、日本でやっている分析法との相違について説明。</p>
		<p><b>【成果・課題】</b></p> <p>無収水管理方法についての理解が深まった。</p>
5/23(金) 実習	漏水修繕の実践	<p><b>【研修内容・狙い】</b></p> <p>管路研修施設において、実際の配水圧力に近い水圧を体験。配水管工事における管栓抜きなどの事故を未然に防ぐための体験。</p> <p>漏水修繕：通常国内使用されている漏水修理機材を使用した100mm程度の配水管の漏水修繕状況の確認。</p> <p>また、漏水区域より手前の配水区域の断水回避方法の紹介。（漏水区域近辺に止水弁がない場合の取付け方法。</p> <p>給水装置取出し体験：配水管から分岐工事を行い、水道メーターまでの給水管敷設、水道メーター取付け、蛇口での通水確認を一連の給水工事作業を通じ、給水工事の内容を確認。</p>
		<p><b>【成果・課題】</b></p> <p>インドネシアで利用されているPVC管は湿気が多い状態では完全に接着しない。PDAM Tirtanadiは施工不良が原因の漏水が非常に多い。今後の配管敷設・修繕方法の改善の必要性が認識された。</p> <p>ダクタイル鋳鉄管など新しい水道機材の知識が得られた。</p>

5/23(金) 講義実習	漏水管理	<p><b>【研修内容・狙い】</b></p> <p>横浜市の漏水率は、近年は約5%(2010年度:5.4%)を維持し続けている。戦後70~80%と言われた漏水率をどのように減少させていったのか、横浜市水道局の漏水対策の変遷、漏水調査機器の紹介を行う。</p> <p>漏水発見に有効的である相関式漏水探知理論の解説。</p> <p>DMA (District Metered Area:給水管理区域)設定区域内で行う漏水量測定に有効な夜間最小流量測定の概要について講義。</p> <p>横浜市水道局が有する西谷浄水場内の管路研修施設での漏水調査機器を使用して実習、操作方法を理解する。</p>
		<p><b>【成果・課題】</b></p> <p>従来の音聴を基本とした音による漏水探索方法以外にもD305や水素・オゾンなど別の方法で有用性の高い漏水探索が行える事が理解された。</p> <p>ピンホール漏水の検出や配管上でのピンポイント検出の技術向上が課題として上がった。</p> <p>漏水調査機器を日常業務に活用しようとするモチベーションが向上した。</p>
5/26 (月)AM 講義実習	水道メーター管理	<p><b>【研修内容・狙い】</b></p> <p>無収水対策の一環として水道メーターの導入及び維持管理は大切な役割を演じている。計量法についての講義を通じ、水道メーターの機能、基準について学ぶ。故障の原因の多くが水道水内の異物・濁質分によることから、対策について理解する。</p>
		<p><b>【成果・課題】</b></p> <p>水道メーターの分解・組立の実習を通じ、維持管理に必要なスキルが習得された。</p>
5/26 (月)PM 講義意見交換	水質検査による漏水判定法	<p><b>【研修内容・狙い】</b></p> <p>これまで簡易な水質検査を行ってきたPDAM Tirtanadi水道に対し、本格的な水質管理体制の構築に向け横浜市水道局の水質管理体制を紹介する。講義の導入部では、PDAM Tirtanadi水道の水質管理状況を確認し、専門家の立場から現状の水質管理及び今後の適切な水質管理に向け意見交換を行う。また、漏水確認に対する残留塩素測定方法について学ぶ。</p>
		<p><b>【成果・課題】</b></p> <p>水質管理に関する理解が深まった。</p> <p>漏水調査の際の水道水確認方法にも活用できることが認識された。</p>

5/27 (火)AM 意見交換	無収水削減に係 る意見交換	<b>【研修内容・狙い】</b> 盗水が大きな問題となっている PDAM Tirtanadi 水道に対し、横浜市水道局が取り組んできた盗水対策を紹介する。また、故障メーターが多く見られる状況に対しての原因究明と、その対応方法について意見交換を行う。
		<b>【成果・課題】</b> 特に水道メーターの分解・清掃でほとんどの故障は防げることが理解された。 現状として水道メーターの盗難が課題にある。解決策としてプラスチック製メーターの導入も検討中。
5/27(火) 発表準備	研修全般質疑発 表会・評価会準備	<b>【研修内容・狙い】</b> 研修発表会に向けた準備として、研修全般について内容確認を行う。
5/27 (火)PM 発表討議	研修のまとめ発 表会・評価会	<b>【研修内容・狙い】</b> 研修の総括を行う。各自の発表を通じ帰国後の活動内容について確認。
		<b>【参加者からのコメント】</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・今後、無収水削減対策のために管轄する DMA 地区における漏水調査活動プランを指揮する。(DelviyAndri 氏)</li> <li>・今回習得した技術を普段の漏水探索・水道メーターの校正・配管路探索などの活動に生かし、PDAM Tirtanadi の無収水率削減につなげる。(Hotma Tua Harahap 氏)</li> <li>・積極的に漏水探索器を活用し無収水を更に削減していく。(Ahmad Sentosa Siregar 氏)</li> <li>・継続的な漏水調査機器研修の要望、故障対応が課題である。(DelviyAndri 氏)</li> <li>・探索機器を設置するバルブが少ない場合の探索方法が課題である。(Akhmad Samari 氏)</li> </ul>

④現地作業：第2回漏水調査（2014年6月1日～2014年6月28日）

第2回漏水調査では DMA 地区での調査を通して導入された漏水調査機材の有効性を検証するとともに配水管網維持管理の技術移転を目的とする。

表 3-15 第2回漏水調査日程

日付	内容
6月1日(日)	移動日：羽田→シンガポール→メダン PDAM Tirtanadi・梅田氏と日程確認
6月2日(月)	PDAM Tirtanadi 表敬訪問、執務室確認作業 在日本大使館メダン総領事館濱田総領事表敬訪問、業務日程説明



6月3日(火)	PDAM Tirtanadi の6支店長と業務日程協議 漏水調査機器の説明とデモンストレーション
6月4日(水)	Cemara Hijau 地区の配水管・弁・水道メーターの確認 同地区及び周辺地区の漏水調査確認作業
6月5日(木)	Cemara Hijau 地区周辺の漏水調査実施 漏水調査機器の検収作業の準備と段取り協議
6月6日(金)	漏水調査機器検収及び取扱方法の説明 JICA インドネシア事務所・インドネシア水道協会会長訪問について協議
6月8日(日)	メダン市内給水状況調査
6月9日(月)	Cemara 支社 Cemara Asri 地区の弁・配水管・水道メーター確認、漏水調査実施 流入量・使用水量表の調査、確認
6月10日(火)	Cemara 支社 Cemara Asri 地区の漏水調査実施 ジャカルタ出張のための協議内容打合せと資料作成
6月11日(水)	Medan Labuhan 支社 Kpum 地区の漏水調査実施 中之菌：ジャカルタへ移動
6月12日(木)	Diski 支社 Padan Hijau 地区の漏水調査実施 中之菌：インドネシア水道協会会長表敬訪問及び8月実施予定の同協会と日本水道協会開催の研修セミナーについて協議 JICA インドネシア事務所富原氏へ実証事業報告
6月13日(金)	Medan Kota 支社の漏水調査実施 インドネシア国情報収集
6月16日(月)	漏水調査報告書作成 漏水調査機器のインドネシア語カタログ製作について協議 濱田総領事と研修センター建設について相談（中之菌）
6月17日(火)	給水管取付業務の技術指導。残留塩素測定について指導 Padan Bulan 支社 Bukit Johor Mas 地区の漏水調査
6月18日(水)	Diski 支社 Bumi Asri 地区漏水調査
6月19日(木)	Tuasan 支社 Komplek Vetpur 地区漏水調査
6月20日(金)	Medan Kota 支社の漏水調査
6月22日(日)	USAID iuwash の研修セミナー資料作成
6月23日(月)	Belawan 支社 Kampung Nelayan 地区漏水調査
6月24日(火)	Belawan 支社 Kampung Nelayan 地区漏水調査
6月25日(水)	Amplas 地区下見調査 USAID iuwash の技術者へ無収水削減対策の講義及び漏水調査機器の説明 夜間：USAID iuwash に対して漏水調査の OJT 研修（Amplas 地区）
6月26日(木)	第2回漏水調査最終報告会
6月27日(金)	漏水担当課長と第1次調査 DMA 地区の無収水率推移について報告
6月28日(土)	移動日：メダン→シンガポール→羽田

第2回漏水調査は、漏水調査等に取り掛かる前に、まず4月下旬に届いた漏水調査機器（表3-12参照）の点検を行い、PDAM Tirtanadi 各配水管理事務所所長・漏水管理課職員を対象に各機器使用方法等についてデモンストレーションを行った。今回対象地区の配水管のほとんどに樹脂管（PVC管）が使用されているため、樹脂管に特化した漏水探索機 D305 を中心に検証しながら漏水調査実証活動を行う旨の方針説明とともに、配水管網の維持管理・漏水調査の重要性・水圧管理・無収水削減対策の重要性等についてパワーポイントで説明しながら技術移転を行った。

表 3-16 漏水調査機器一覧表

漏水調査機器名称	入荷数	合計	メーカー支店連絡先
D305 樹脂管漏水探索機	5	6	株式会社グッドマン TEL+81-45-701-5680
高精度デジタル圧力計	1	1	
小型軽量漏水探索機	1	2	Gutermann AG Kuala Lumpur Malaysia TEL+60-3-2116-5999
アクアスキャン 610	0	1	
水素式超高性能漏水探索機	1	1	PT. Pratama Graha Semesta Jakarta Indonesia TEL +62-21-6900656
小型音聴式漏水探索機 ST04	10	10	
超音波流量計 F601	1	1	Flexim Instruments Asia Pte Ltd Singapore TEL +65-6794-5325

#### ア. 第2回漏水調査地区の選定

漏水調査実施前に、調査対象となる DMA の選定を漏水管理課長と行った後、対象 DMA を管轄している配水管理事業所の所長または技術責任者から各 DMA の現状と問題点にかかる報告を受け、それぞれ漏水調査の日程を決定した。今回漏水調査でも、PDAM Tirtanadi 職員の人材育成を重視して活動を行うこととし、漏水調査機器の取扱方法について OJT 方式で指導した。その後、夜間最少流量計測を行い、各 DMA 内に流入する水量、各家庭で使用する水量、無収水量の把握を行った。その結果、漏水調査を実施するパイロット地区は次の表 3-17 のとおり決定した。

表 3-17 第 2 回漏水調査パイロット地区

DMA	Cemara Hijau	Cemara asri	Padan Hijau	Padan Bulan	Tuasan	Bagan Deri
調査日程	6/4～6/10		6/12～6/17		6/19～6/24	
建設年度	2004	2004	2004	2007	1994	1994
流入点	1ヶ所	2ヶ所	1ヶ所 6"	1ヶ所 4"	2ヶ所 3・4"	2ヶ所
流量計	1ヶ所	2ヶ所	—	1ヶ所	2ヶ所 3"4"	2ヶ所
配水区域	4		6	4		深井戸:2 深度 210m 8ℓ/S,7ℓ/S
給水戸数	1,002	3,600	385	255	350	1,077
無収水	34.47%	36.76%	38.00%	23.39%	23.54%	32.00%
管種	PVC 管					
管径 (inch)	3",4",6"	2",3" 4",6"	2",3" 4",6"	3"	3"	2",3" 4",6"
配水管延長	1,800m	3,600m	3,500 m	3,300 m	3,000m	
水圧	0.4～0.5Bar	0.4 Bar	0.3 Bar	0.7 Bar	0.7 Bar	0.3 Bar
給水時間	24 時間	24 時間	18 時間 (4:00～ 22:00)	24 時間	24 時間	24 時間
コメント	中国人居住 地区	中国人居住 地区		シボランゲ 系統	漏水・ 苦情多い	3 ヶ月前 ポンプ更新

※配水区域：DMA をさらにバルブ等で分けした小区画

※コメント：各配水管理事務所長

表 3-18 漏水調査内容

調査名称	漏水調査機	内 容
夜間最少流量調査	超音波流量計(既存のもの 合わせて 2 台) 高精度デジタル圧力計	区画内へ流入する流量を測定する。この流量は、 漏水量と使用量が含まれるため、漏水エリアを推 測するための情報となる。
地上漏水調査	小型軽量漏水探索機 小型音聴式漏水探索機 ST04 音聴棒(既存のもの)	地下埋設管の継ぎ手部分からの漏水や地上に水 が漏れ出ている漏水の調査。目視ならびに水道メ ーターや各家の前に幅 1m 位の水路を横断してい る給水管に探查棒を接触させて音聴調査を行っ た。
地下漏水調査	D305 樹脂管漏水探索機、 相関式漏水探索機 AS610 小型軽量漏水探索機	地下に埋設された配水管からの漏水箇所を特定 する調査。 <u>D305 の使用方法：</u>

		<p>配水管上の仕切弁又は水路を横断している給水管の水道メーター金属部に D305 の送信機を設置し、水道管内の水を通して電磁波を受信することで配管路を確認し、信号音が弱くなる地点から漏水箇所を絞り込む。</p> <p><u>AS610 の使用方法</u></p> <p>配水管に設置してある水道仕切弁又は水路を横断している給水管の水道メーター金属部分にセンサーを（A 点/B 点）設置して AB 点間で漏水箇所の検出を行う</p>
--	--	--

#### イ. 漏水調査事前準備

各事業所長に対し今次漏水調査に従事する職員の選出を依頼し、PDAM Tirtanadi 漏水管理課職員 8 名に加え、今次対象 DMA の管轄事業所から選出された職員 20 名の計 28 名が招集された。まず初めに 28 名の職員に対し、表 3-14 にある通り漏水探索器の作動原理及び機材の使用法、各機材を使用した漏水調査手法、各漏水調査内容に合わせた漏水探索器の選択方法等について講義を行い、OJT 研修を兼ねて漏水調査を実施した。効率的な漏水調査実施のため参加者 28 名を 2 班に分けることとした。

- A チーム（松尾）：D305、小型軽量漏水探索、小型音聴式漏水探索 ST04

配水管：D305 の実証調査

給水管：ST04 で給水管からの漏水音調査

- B チーム（久貝）：AS610、小型軽量漏水探索、小型音聴式漏水探索 ST04

配水管：AS610 にて実証調査

給水管：ST04 で給水管からの漏水音調査

漏水管理課職員で漏水調査技術を習得している責任者を各班 1、2 名同行させ、地上漏水・地下漏水調査を交互に行いながら、班の職員に対し漏水調査の方法について指導を行った。

延長・給水個数・管種・水圧のデータ等を調べ図面化できるようになった。漏水調査を実施する前に漏水管理課の責任者が各班に対して毎回漏水調査方法の説明を行った。

あらかじめ水道管の修理業者を同行、待機させ、漏水箇所発見後即日修理を実行することとした。



図 3-13 地上漏水調査(小型音聴式漏水探索・浅い埋設管での漏水)

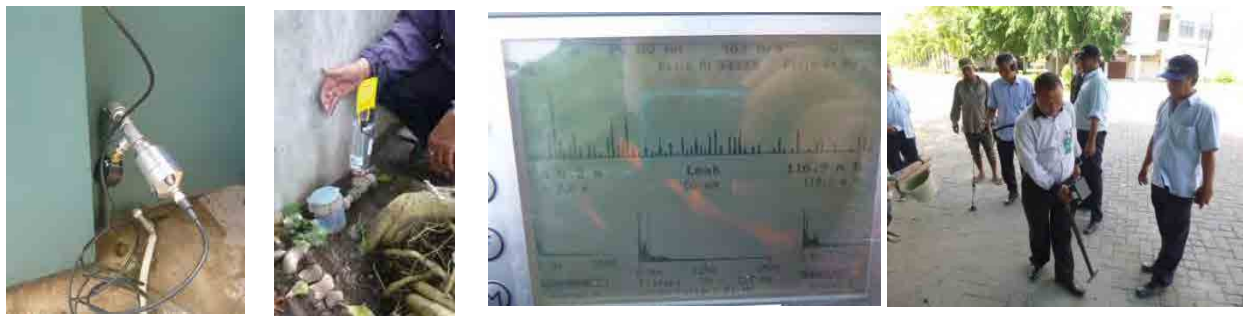


図 3-14 地下漏水調査

(ハイドロフォン・AS610 センサー・AS610 相関器・D305 による調査)

#### ウ. 第 2 回漏水調査結果

漏水調査結果は、次の通りである。各地区の漏水量の計測は、漏水箇所から流出する毎分の水量を計測し、 $\text{m}^3/\text{月}$ を概算で算出したものである。なお、「流入量・使用水量・無収水率の推移」は、第 1 次調査の際 PDAM Tirtanadi 職員に DMA 地区内の流入量、給水戸数、使用水量のデータから無収水率を計算する IWA (InternAtionAl Water AssociAtion)の配水量分析手法を教え、第 1 次・第 2 次調査対象 DMA 地区のデータを作成させたものである。

##### a. Cemara 支部 Cemara Hijau 地区(2014 年 6 月 4 日～5 日)

夜間最少流量計測を実施するために、各配水区域 (Section) の仕切弁、消火栓等の位置確認、現場の状況調査を実施し、確認ができた弁室に番号を記した。しかし 6 月 4 日、5 日とも夕方に大雨が降り夜間最少流量計測は実施できなかった。

この地区は中国人居住区で使用水量も無収水量も多く無収水率は 34.47%と高い。ところが配水管を中心に漏水調査機材を使用して漏水調査を実施した結果、地区内の漏水箇所は発見できなかった。

配水管理課長から Cemara Hijau 地区近隣の区外漏水調査の依頼があった。コンクリート道路のひび割れ部分から水道水が湧きでている漏水現場である。調査は AS610 のセンサーとハイドロフォンを A, B 間距離 86m に設置、漏水箇所を絞り込み D305 と小型軽量漏水探索で場所を特定した。



図 3-15 Cemara Hijau の漏水

表 3-19 Cemara Hijau 地区調査概要

調査人数(日本人調査チーム/PDAM Tirtanadi)	3名 / 16名
無収水率	34.47%
管種/管径	PVC 管/3 インチ
区域総距離	1.84Km
配水圧力	0.4~0.7bAr
調査終了範囲	全体の 25%

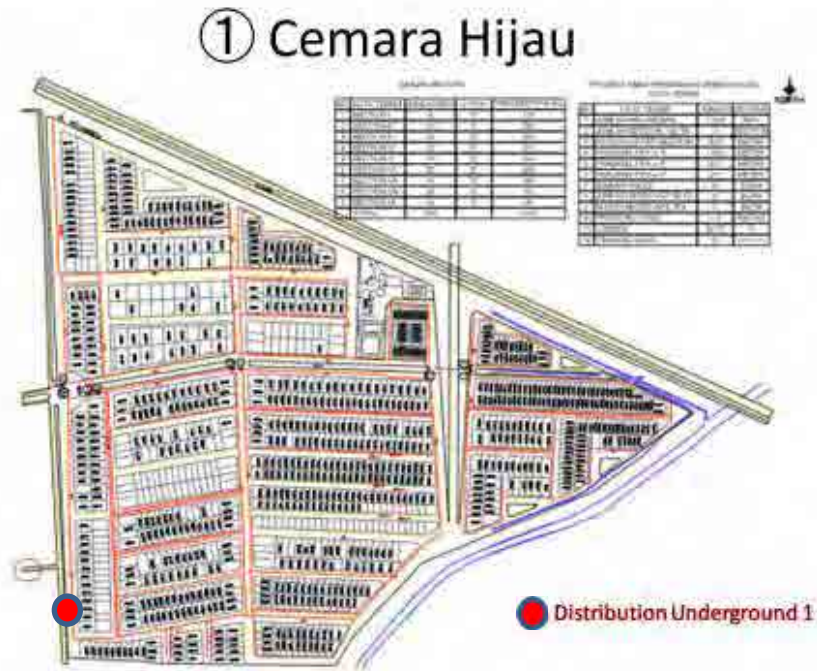


図 3-16 Cemara Hijau 地区

よって、図 3-16 の赤丸で記されている通り、Cemara Hijau 地区内での漏水検出箇所はなく、地区外で 1ヶ所の地下配水管からの漏水を検出した。計測の結果、流出量は約 8,780 m<sup>3</sup>/月であった。

表 3-20 Cemara Hijau 地区 漏水量の計測

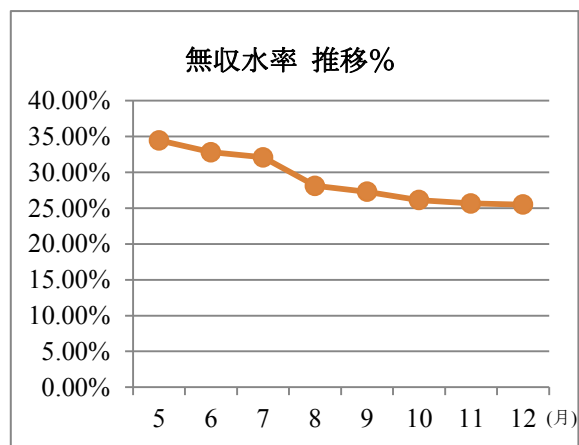
	漏水タイプ	漏水箇所	流出量ℓ/分	流出量m <sup>3</sup> /月
区域外配水管漏水	地下漏水	①	200	8,780

表 3-21 は調査前の 2014 年 5 月と調査実施後 6 月以降 12 月までの 8 ヶ月にわたる給水戸数、水道水生産量、消費量、無収水量、無収水率の推移を表とグラフで表したものである。

Cemara Hijau 地区の 2014 年 5 月から 12 月までの各数値はわずかに変動しているものの、今回検出した漏水箇所は区域外であるため計測数値には影響していない。

表 3-21 Cemara Hijau 地区 流入量・使用水量・無収水率の推移

月	給水戸数	生産量	消費量	無収水	
				m <sup>3</sup>	%
5	1,002	37,475	24,556	12,919	34.47%
6	1,002	35,338	23,743	11,595	32.81%
7	1,002	35,286	23,961	11,325	32.09%
8	1,002	33,521	24,096	9,425	28.12%
9	1,002	33,241	24,173	9,068	27.28%
10	1,003	33,374	24,655	8,719	26.13%
11	1,003	33,353	24,795	8,558	25.66%
12	1,003	33,321	24,823	8,498	25.50%



b. Cemara 支社 Cemara Asri 地区の調査(2014 年 6 月 9~10 日)

Cemara Asri 地区も中国人居住区である。38 度の気温の中、漏水担当課職員と漏水調査を実施したが、午後 2 時以降、暑さのため作業効率が下がり、再調査 3 ヶ所は翌日 10 日に繰り越し実施した。

表 3-22 Cemara Asri 地区 調査概要

調査人数(日本人調査チーム/PDAM Tirtanadi)	3 名 / 12 名
無収水率	36.76%
管種/管径	PVC 管/3 インチ
区域総距離	1.84Km
配水圧力	0.4bAr
調査終了範囲	100%

調査の結果、図 3-17 に標された通り、給水管の地上漏水 5 ヶ所、配水管の地下漏水 2 ヶ所を検出した。各流出量を計測したところ、配水管からの大きな漏水が含まれていたため、この地区で発見された漏水箇所の合計流出量は約 28,240 m<sup>3</sup>/月であった。(表 3-23)



図 3-17 Cemara 支社 Cemara Asri 地区

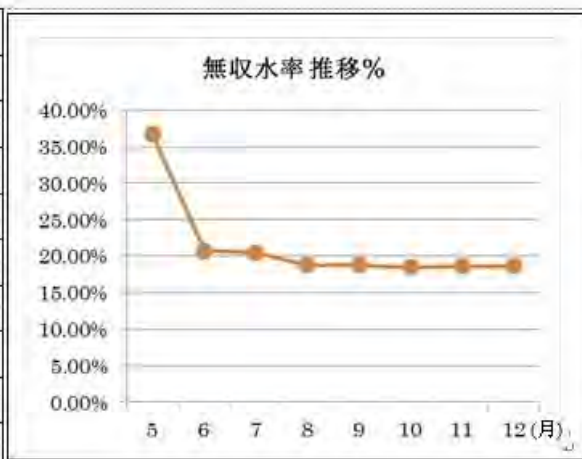
表 3-23 Cemara Asri 地区 漏水量の計測

	漏水タイプ	漏水箇所	流出量ℓ/分	流出量m <sup>3</sup> /月
配水管	地下漏水	①	578.7	25,000
給水管	地上漏水	②	16.2	700
		③	16.2	700
		④	16.2	700
		⑤	16.2	700
		⑥	10.2	440
合計			653.7	28,240

漏水箇所検出後は同行の修理業者が即時修理をした。その結果、表 3-24 にみられるように調査前の 2014 年 5 月は 36.76%だった無収水率が、調査実行した翌月 6 月に 20.69%に大きく減少し 12 月までほぼ横ばいに推移していることから、漏水箇所検出修理の効果がはっきりと確認できる。

表 3-24 Cemara Asri 地区 流入量・使用水量・無収水率の推移

月	給水戸数	生産量	消費量	無収水	
				m <sup>3</sup>	%
5	3,460	148,444	93,879	54,565	36.76%
6	3,462	114,679	90,957	23,722	20.69%
7	3,458	115,832	92,112	23,720	20.48%
8	3,458	114,652	93,192	21,460	18.72%
9	3,459	114,699	93,222	21,477	18.72%
10	3,460	114,721	93,531	21,190	18.47%
11	3,460	114,695	93,327	21,368	18.63%
12	3,461	114,721	93,377	21,344	18.61%



c. Diski 支社 Padang Hijau 地区の調査(2014 年 6 月 12 日)

Padang Hijau 地区は給水時間 4 : 00 ~ 22 : 00 の閑静な住宅街である。AS610 にて設置センサー距離 160m 間でピンポイント検出した漏水箇所からは 35ℓ/分の水道水が流出していた。

表 3-25 PAdAng HijAu 地区 調査概要

調査人数(日本人調査チーム/PDAM Tirtanadi)	2 名 / 11 名
無収水率	38.86%
管種/管径	PVC 管/3 インチ
区域総距離	不明
配水圧力	0.3bAr
調査終了範囲	40%



### ③ Diski Padang Hijau



図 3-18 Diski 支社 Padang Hijau 地区

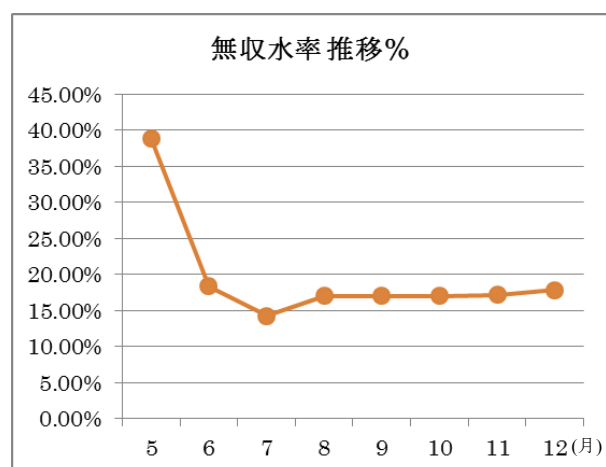
表 3-26 Padang Hijau 地区 漏水量の計測

	漏水タイプ	漏水箇所	流出量ℓ/分	流出量m <sup>3</sup> /月
配水管漏水	地下漏水	①	36.5	1,576
		②	44	1,900
合計			80.5	3,476

表 3-27 にみられるように、この地区の無収水率の推移についても調査前の 2014 年 5 月計測時は 38.86%から調査実施した 6 月の 18.37%と大きく下降し、その後低い値を維持している。無収水量は 5 月の 4,356 m<sup>3</sup>から 6 月の 962 m<sup>3</sup>と 3,394 m<sup>3</sup>減少しているので、表 3-26 にある合計漏水量 3,476 m<sup>3</sup>に相当する分は削減できたことがわかる。

表 3-27 Padang Hijau 地区 流入量・使用水量・無収水率の推移

月	給水戸数	生産量	消費量	無収水	
				m <sup>3</sup>	%
5	385	11,210	6,854	4,356	38.86%
6	385	5,237	4,275	962	18.37%
7	385	5,014	4,301	713	14.22%
8	385	5,167	4,287	880	17.03%
9	386	5,177	4,297	880	17.00%
10	386	5,181	4,300	881	17.00%
11	387	5,201	4,307	894	17.19%
12	387	5,299	4,355	944	17.81%



d. Padang Bulan 支社 Bukit Johor Mas 地区の調査(2014年6月17日)

この地区は 2007 年に水道管が敷設された住宅街である。地上漏水では継手部分、管のひび割れ、腐食によるピンホール、図 3-19 のような各家の敷地との間の溝を横断している水道管からの漏水が多く発生し、給水管の維持管理が行われていない状況である。

地下漏水：給水管の立ち上がり部の腐食による継手部分からの漏水ピンホールによる漏水が多かった。



図 3-19 Bukit Johor Mas 地区,給水管からの漏水

表 3-28 Padan Bulan 支社 Bukit Johor Mas 地区 調査概要

調査人数(日本人調査チーム/PDAM Tirtanadi)	4名 / 16名
無収水率	23.39%
管種/管径	PVC 管/3 インチ
区域総距離	3.3Km
配水圧力	0.3bAr
調査終了範囲	100%



図 3-20 Padan Bulan 支社 Bukit Johor Mas 地区

この地区では給水管の地上漏水3ヶ所(青丸)及び地下漏水5ヶ所(緑)、配水管の地下漏水1ヶ所(赤丸)の合計9ヶ所を検出した。各箇所からの漏水流出量は表3-29の通りである。それぞれの漏水量が小さいものであったが、9ヶ所の合計約670 m<sup>3</sup>/月分の漏水箇所を修復した。

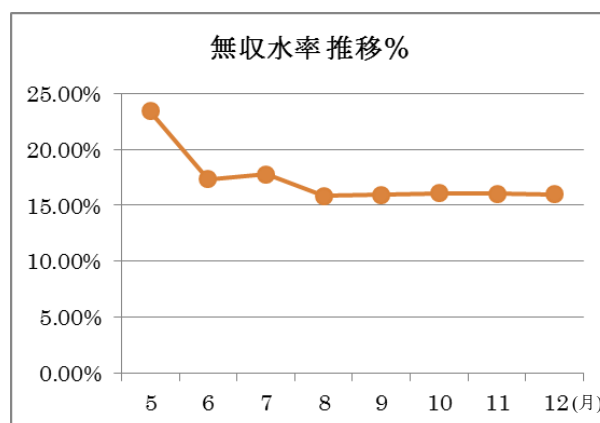
表 3-29 Padan Bulan 支社 Bukit Johor Mas 地区 漏水量の計測

	漏水タイプ	漏水箇所	流出量ℓ/分	流出量m <sup>3</sup> /月
配水管	地下漏水	①	5.7	245
給水管	地下漏水	②	2.1	90
		③	2.1	90
		④	2.1	90
		⑤	1	45
		⑥	1	45
	地上漏水	⑦	1	45
		⑧	1	45
		⑨	1	45
	合計			17

この結果、表3-30のように調査前の2014年5月には23.39%であった無収水率が減少し、6月以降17%以下に落ち着いている。無収水量も5月の1,981 m<sup>3</sup>から6月の1,364 m<sup>3</sup>へと617 m<sup>3</sup>落ちており、漏水流出量に相当する分減少していることがわかる。

表 3-30 Bukit Johor Mas 地区 流入量・使用水量・無収水率の推移

月	給水戸数	生産量	消費量	無収水	
				m <sup>3</sup>	%
5	255	8,469	6,488	1,981	23.39%
6	255	7,865	6,501	1,364	17.34%
7	255	7,901	6,498	1,403	17.76%
8	255	7,821	6,582	1,239	15.84%
9	255	7,823	6,577	1,246	15.93%
10	256	7,852	6,591	1,261	16.06%
11	256	7,861	6,599	1,262	16.05%
12	256	7,872	6,612	1,260	16.01%

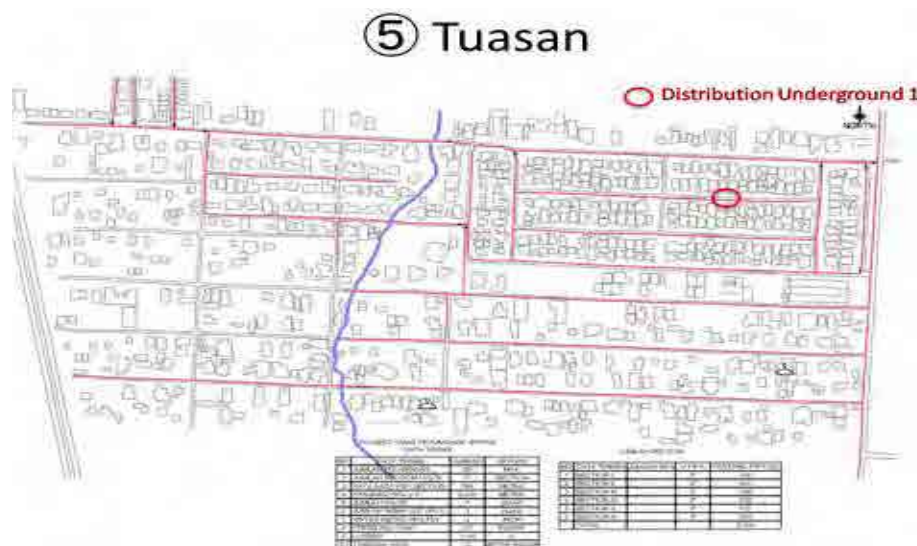


e. Tuasan 支所 Komplek Vetpur 地区の調査(6月19日)

この地区は1994年に水道が敷設された古い住宅街である。ST04による給水管、水道メータでの音聴調査及びD305とAS610による配水管及び給水管部の漏水調査を行った。過去のPDAM Tirtanadi職員による既存に機器を使用した漏水調査では水路部分からの漏水箇所を確認できなかったが、今回詳細調査した結果、配水管の継手からの漏水が確認された。

表 3-31 Tuasan 地区 調査概要

調査人数(日本人調査チーム/PDAM Tirtanadi)	3名 / 10名
無収水率	23.54%
管種/管径	PVC 管/3 インチ
区域総距離	3.0Km
配水圧力	0.7bAr
調査終了範囲	10%



配水管地下漏水 1ヶ所

図 3-21 Tuasan 支社 Komplek Vetpur 地区 調査

発見できたのは図 3-21 の赤丸部 1ヶ所であったが、配水管からの漏水であったため表 3-32 の通り流出量約 509 m<sup>3</sup>/月の漏水を修復した。

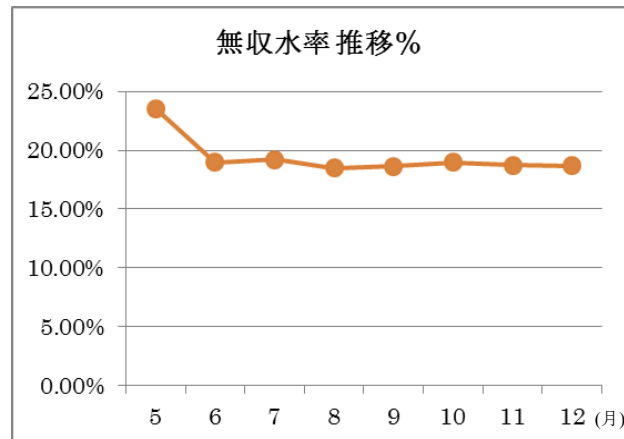
表 3-32 Tuasan 支社 Komplek Vetpur 地区 漏水量の計測

	漏水タイプ	漏水箇所	流出量ℓ/分	流出量m <sup>3</sup> /月
配水管	地下漏水	①	11.8	509

表 3-33 にみられるように、無収水量もこの上記流出量に相当する分減少し、その結果、無収水率が2014年5月時点の23.54%から6月以降の19%前後へと減少した。

表 3-33 Tuasan 支社 Komplek Vetpur 地区 流入量・使用水量・無収水率の推移

月	給水戸数	生産量	消費量	無収水	
				m <sup>3</sup>	%
5	309	10,005	7,650	2,355	23.54%
6	309	9,502	7,701	1,801	18.95%
7	309	9,611	7,765	1,846	19.21%
8	309	9,561	7,791	1,770	18.51%
9	309	9,566	7,782	1,784	18.65%
10	310	9,617	7,792	1,825	18.98%
11	310	9,620	7,820	1,800	18.71%
12	310	9,627	7,829	1,798	18.68%



f. Diski 支社 Bumi Asri の調査(6月18日)

DMA 地区の中では比較的広い住宅地である。AS610 のセンサーを A、B 間 86m に設置し、PVC 管の微少漏水を 1ヶ所発見(図 3-22 の赤丸箇所)することができた。PDAM Tirtanadi の職員は、地上漏水でなかったため漏水の可能性は無いと断言していた。

表 3-34 Bumi Asri 地区 調査概要

調査人数(日本人調査チーム/PDAM Tirtanadi)	3名 / 11名
無収水率	32%
管種/管径	PVC 管/3 インチ
区域総距離	2.99Km
配水圧力	0.7bAr
調査終了範囲	90%

⑥ Diski Bumi Asri



図 3-22 Diski 支社 Bumi Asri DMA 地区

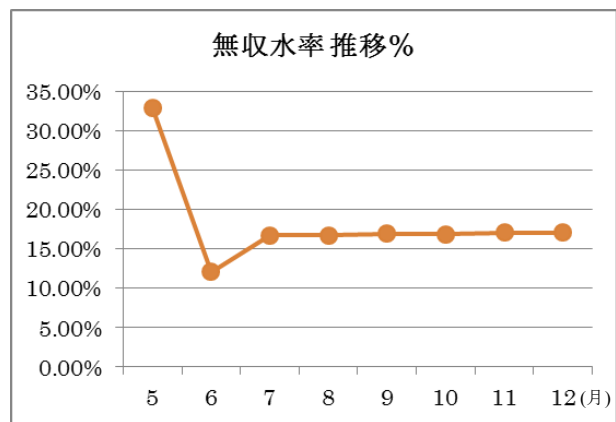
表 3-35 Diski Bumi Asri DMA 地区 漏水量の計測

	漏水タイプ	漏水箇所	流出量ℓ/分	流出量m <sup>3</sup> /月
配水管	地下漏水	①	126.9	5,481

1ヶ所であったが流出量は 4,392 m<sup>3</sup>/月とかなり大きな漏水であった。無収水率は 5 月時点の 32.88%から 6 月の 12.09%、その後 16%台と減少した。ひと月の流出量は漏水箇所を確認した時点で計測した数値を m<sup>3</sup>/月単位に換算した概算である。表 3-36 をみると無収水量は 5 月と 6 月の減少幅が 6,625 m<sup>3</sup>と計測した流出量以上削減されているので、月を通じた実際の流出量はそれ以上であったといえる。

表 3-36 Diski 支社 Bumi Asri 地区 流入量・使用水量・無収水率の推移

月	給水戸数	生産量	消費量	無収水	
				m <sup>3</sup>	%
5	842	29,370	19,712	9,658	32.88%
6	842	25,085	22,052	3,033	12.09%
7	842	24,991	20,814	4,177	16.71%
8	842	25,221	21,015	4,206	16.68%
9	842	25,314	21,027	4,287	16.94%
10	843	25,376	21,093	4,283	16.88%
11	843	25,339	21,011	4,328	17.08%
12	843	25,351	21,033	4,318	17.03%



g. Medan Labuhan Kpum 地区の調査(6月11日)

海が近く低地のため水位が高い住宅地である。止水バルブが海水に浸かって D305 をバルブに設置することができない箇所が多い。小型音聴式漏水探索器もしくは小型軽量漏水探索器により取出しパイプ箇所を中心に調査した。大半はメーターの継手部分からの漏水であった(図 3-23)。

AS610 は調査区間を 20m と狭くすることにより計測することができた。



図 3-23 Medan Labuhan Kpum 地区、メーター継手部からの漏水

表 3-37 Labuhan Kpum 地区 調査概要

調査人数(日本人調査チーム/PDAM Tirtanadi)	3名 / 20名
無収水率	20%
管種/管径	PVC 管/3 インチ
区域総距離	3.4Km
配水圧力	0.3bAr
調査終了範囲	100%

⑦ Medan Labuhan Kpum



図 3-24 Medan Labuhan 支社 Kpum 地区

図 3-24 にみられるように、この地区では給水管地上漏水 4 ヶ所と地下漏水 8 ヶ所の合計 12 ヶ所の漏水を発見した。それぞれの漏水箇所からの流出量と全体の流出量は表 3-38 の通りで、全体で約 2,000 m<sup>3</sup>/月の流出を食い止めることができた。

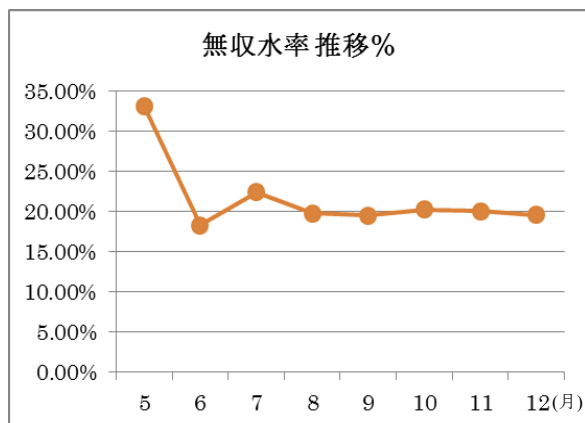
表 3-38 Medan Labuhan 支社 Kpum 地区 漏水量の計測

	漏水タイプ	漏水箇所	流出量ℓ/分	流出量m <sup>3</sup> /月
給水管	地下漏水	①	3.9	170
		②	4.4	190
		③	4.4	190
		④	3.5	150
		⑤	5.1	220
		⑥	4.2	180
		⑦	4.1	175
		⑧	6	260
	地上漏水	⑨	2.1	90
		⑩	4.1	175
		⑪	5.1	220
		⑫	2.1	90
合計			49	2,110

この結果、表 3-39 のように、無収水率は調査前の 2014 年 5 月時点での 33.08%から 6 月以降は 20%前後でほぼ横ばいに推移している。無収水量も 5 月時点での 5,895 m<sup>3</sup>/月から 7 月の 3,784 m<sup>3</sup>と削減幅が 2,111 m<sup>3</sup>であり、今回の漏水発見修理の成果が反映されていることが確認できる。

表 3-39 Medan Labuhan 支社 Kpum 地区 流入量・使用水量・無収水率の推移

月	給水戸数	生産量	消費量	無収水	
				m <sup>3</sup>	%
5	700	17,820	11,925	5,895	33.08%
6	719	14,590	11,925	2,665	18.27%
7	718	16,920	13,136	3,784	22.36%
8	718	15,840	12,711	3,129	19.75%
9	719	15,891	12,799	3,092	19.46%
10	719	15,887	12,678	3,209	20.20%
11	719	15,872	12,692	3,180	20.04%
12	719	15,881	12,778	3,103	19.54%



h. Belawan 支社 Kampung Nelayan 地区の調査(6 月 23 日、24 日)

ここは Belawan 湾に埋め立てを行った住宅街で (図 3-25)、深井戸 3ヶ所から水道水を供給している地区である。Belawan 支社では適正な維持管理を実施していないとみられ、地盤が低いために満潮時には海水が各住宅の床下まで入り込み地下埋設管は、常に海水に浸かっている、海水からの腐食対策を行っていない状況である。また、仕切弁は深井戸から送水するところに各 1ヶ所設置されているだけでほとんどない。浸水状態の給水設備に漏水調査機器を設置することが出来ないため、Medan Labuhan Kpum 地区同様、目視調査と探査棒を取り付けた小型軽量漏水探索機もしくは小型音聴式漏水探索機 ST04 による地上漏水調査を主体として漏水調査を実施した。



図 3-25 Belawan 支社 Kampung Nelayan 地区



地下漏水調査は、配水管に設置してある仕切弁及び露出している給水管の金属部分もしくは水道メーターの金属部分に D305 の送信機を設置して調査を試みたが、地面が海水につかった状態のため、送信機取付部から水分を多量に含んだ地面に電磁波が拡散して、的確な漏水箇所を特定することは難しかった。

AS610 による調査は、露出部分の金属管にセンサーを取付け、A・B 間の距離を 20m 程度と短くした結果、的確に漏水箇所を確認することが出来た。PVC 配水管の継手部分を接続する際、接着部が水に濡れ完全に乾燥しないまま接続し埋設したことによる接着不良が原因と思われる漏水がほとんどであった。

給水管は金属の継手部が海水により腐食したことが原因の漏水がほとんどであった。漏水箇所を特定するために長さ 1.2m の音聴棒を使用し、漏水検出地点の地面に穴を開けて水道水が地上に出てくるかどうかの確認を行いながら業務を実施した。

地下水位の高い地区であり、条件が悪く通常に比べて漏水箇所の特定は難しかったが、図 3-25 に示された通り、給水管地上漏水が 7 ヶ所、地下漏水が 4 ヶ所、配水管の地下漏水が 7 ヶ所、人員 16 名 2 日間で合計 18 ヶ所の漏水を確認することが出来た。PDAM Tirtanadi の職員にとっても良いケーススタディとなった。

表 3-40 Kampung Nelayan 地区 調査概要

調査人数(日本人調査チーム/PDAM Tirtanadi)	3 名 / 13 名
無収水率	34.62%
管種/管径	PVC 管/3 インチ
区域総距離	不明
配水圧力	不明
調査終了範囲	90%

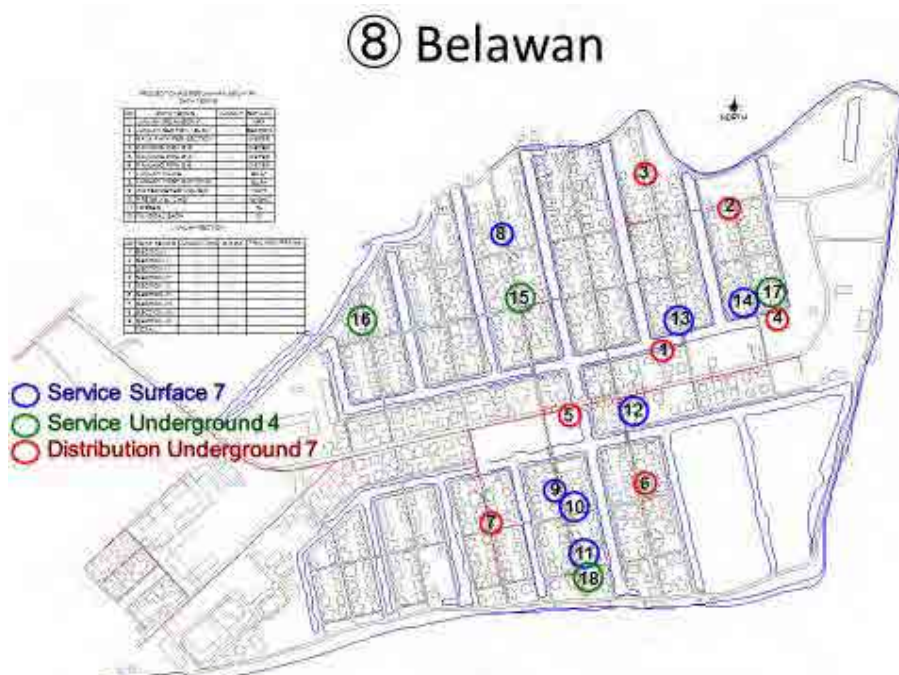


図 3-26 Belawan 支社 Kampung Nelayan 地区

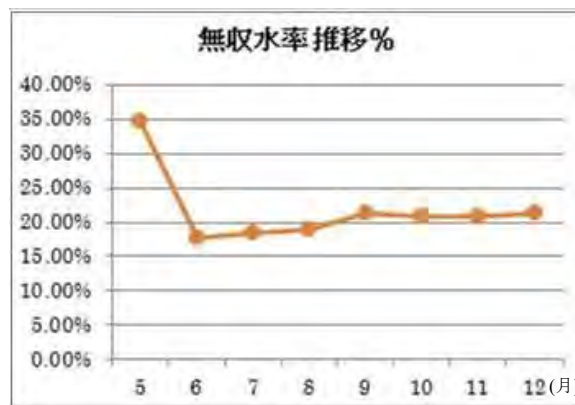
表 3-41 Belawan 支社 Kampung Nelayan 地区 漏水量の計測

	漏水タイプ	漏水箇所	流出量ℓ/分	流出量m <sup>3</sup> /月
配水管	地下漏水	①	1.6	70
		②	1.6	70
		③	2.3	100
		④	3.5	150
		⑤	1.9	80
		⑥	1	45
		⑦	2.3	100
給水管	地下漏水	⑧	1	45
		⑨	1	45
		⑩	1	45
		⑪	1	45
	地上漏水	⑫	1	45
		⑬	1	45
		⑭	1	45
		⑮	1	45
		⑯	1	45
		⑰	1	45
		⑱	1	45
合計			25.2	1,110

表 3-41 にある通り、それぞれの漏水は小さいものであったが、数多く検出することができたので、総流出量は 1405.44 m<sup>3</sup>/月となった。これにより表 3-42 にみられるように、無収水率は 5 月時点 34.62% から 7、8 月の約 19% へと推移している。この地区は 6 月に給水戸数が増え、使用量、生産量とも増加した。このため 6 月から 7 月にわずかに無収水率が増加するなど漏水修理以外の要因が推移に影響しているようであるが、無収水量は調査前の 2014 年 5 月と比較して検出漏水量にほぼ匹敵する平均約 1,300 m<sup>3</sup>/月減少しているところに成果を確認することができる。

表 3-42 Belawan 支社 Kampung Nelayan 地区 流入量・使用水量・無収水率の推移

月	給水戸数	生産量	消費量	無収水	
				m <sup>3</sup>	%
5	1,077	34,848	22,782	12,066	34.62%
6	1,234	58,222	47,889	10,333	17.75%
7	1,253	59,000	48,044	10,956	18.57%
8	1,253	58,325	47,233	11,092	19.02%
9	1,253	58,716	46,132	12,584	21.43%
10	1,253	58,831	46,591	12,240	20.81%
11	1,253	58,932	46,674	12,258	20.80%
12	1,253	58,714	46,123	12,591	21.44%



i. Medan Kota 支社の調査 (6月20日)

メダン市内中心部の住宅街の漏水調査を行った。この地区の送水管、配水管、給水管はいずれも古く継手部分、給水管栓部からの漏水が多く発生している。また、配水管図面管理の更新がなされていないので地下埋設位置の確認にも多くの時間を要した。小型音聴式漏水探索機及び ST04 による水道メーターに探査棒を充てて行う漏水音調査を行ったが、市内の水道メーターは毎月 200 個程度盗難にあっているので水道メーター一部分に荷物を置いて盗難防止を行っている。このため水道メーターでの漏水音確認調査に時間を要した。水道管の継手部分、管栓部分から 4ヶ所の漏水を発見することが出来た。

地下漏水調査は、配水管に設置してある仕切弁及び露出している給水管の金属部分、水道メーターの金属部分に「樹脂管用漏水探索・配管路探索器 PVC ロケーター D305」の送信機の設置及び「相関式漏水探索器アクアスキャン 610」機器の A センサー・B センサーを設置して地下に埋設されている配水管及び給水管からの漏水音の確認調査と詳細調査を行った。D305 による漏水箇所の確認 については、この地域は交通量が多く道路も狭いため昼間の漏水調査は交通整理員を要しての調査となった。効率的な漏水調査は出来ないが、今後は夜間漏水調査に切り替える必要がある。



図 3-27 Medan Kota 支社

AS610 は、露出部分の金属管にセンサーを取付け、A 点・B 点間の距離を短くして調査を行った結果、的確に漏水箇所を確認することが出来た。住民からの情報では今まで 11 回も PDAM Tirtanadi に連絡したが漏水修理に対応していなかったとのことである。職員に確認すると、給水管は所有者(住民)が修理するとの誤った認識を持っていた。このため職員に対して水道メーターまでは PDAM Tirtanadi が修繕しなければ漏水により排出された水道水はすべて無収水となることを説明した。

一方、配水管から分岐した箇所から大量に水道水が水路に流されていたが、この時にも職員は水路に流れている水が水道水とは理解していなかった。で蛇口の水と水路に流れている水で残留塩素濃度を測定して残留塩素があることを確認させることを伝えた。第 2 回目の報告会でも残留塩素測定手法（図 3-28 「残留塩素測定状況」参照）について、参加した職員、各事務所の責任者に説明とデモンストレーションを行い、水道水かを確認するためには残留塩素測定の重要性について理解していただいた。

その結果、配水管で 7 ヶ所の漏水、給水管で 4 ヶ所の漏水を確認することが出来た。

地下水位の高い地区での漏水調査は、D305 の場合電磁波が拡散されてしまうので漏水箇所の特定は不向きであることが分かった。このような地区での漏水調査は AS610 の漏水探索器を先行して漏水調査を行い、ある程度漏水位置が確認出来たら小型軽量漏水探索器を利用して漏水箇所を特定する手法が適していることが確認できた。

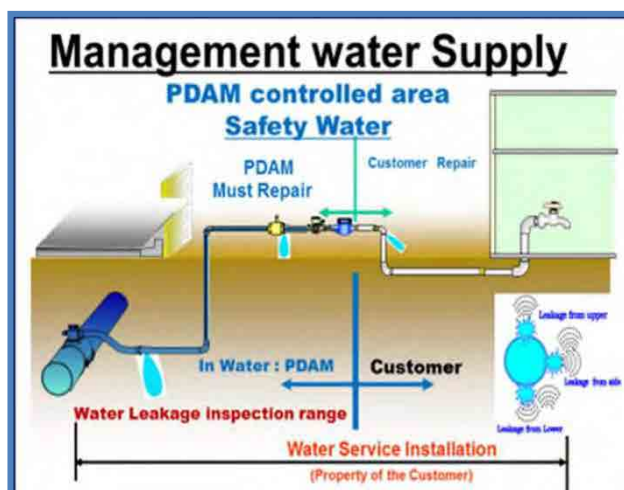


図 3-28 ManagementWater Supply

表 3-43 Medan Kota 支社 調査概要

調査人数(日本人調査チーム/PDAM Tirtanadi)	4 名 / 9 名
無収水率	DMA 化されていないため不明
管種/管径	PVC 管/3 インチ
区域総距離	不明
配水圧力	0.7bAr
調査終了範囲	100%



図 3-29 Medan Kota 支社 3 区域

調査の結果、図 3-27 に示された通り、給水管地上漏水 3 ヶ所（青丸印）、配水管地下漏水 3 ヶ所（赤丸印）の計 6 ヶ所の漏水箇所を検出することができた。

表 3-44 Medan Kota 支社 漏水量の計測

	漏水タイプ	漏水箇所	流出量ℓ/分	流出量 <sup>m<sup>3</sup></sup> /月
配水管	地下漏水	①	50.9	2,200
		②	30.3	1,310
		③	39.4	1,700
給水管	地上漏水	④	3	130
		⑤	4.6	200
		⑥	4.6	200
合計			132.8	5,740

なお、この地区は流入点が多数あるため DMA 化して管理されていない状況である。そのため無収水率のデータ等は入手不可能であった。今回は住民からの強い要望もあり、漏水調査の対象とした。配管の老朽管が多い影響か、表 3-40 のように検出数の割には全体で流出量約 5850 <sup>m<sup>3</sup></sup>/月もの大きな漏水を修復したので、残念ながら無収水率の推移は確認できないが、大きく削減されているはずである。



## Judgment of Liquid

### What is this liquid?

Residual Chlorine → Exist or Not

pH → 6.7 – 7.5

Conductivity → 100 – 300 mi.S/cm

Trihalomethane → Exist or Not

Liquid	pH	Conductivity (mi.S/cm)
Leakage water	6.7 – 7.5	100 – 300
Rain	< 6.0	40 – 90
Ground water	6.4 – 7.5	300 – 1000
Sewage water	7.0 <	500 <



図 3-30 残留塩素測定状況

### ■ 第 2 回漏水調査結果

第 1 回漏水調査では、D305、AS610、小型軽量漏水探索器各 1 台のみの機材で、なおかつ状況調査及び PDAM Tirtanadi 職員への技術移転をしながらの調査であったため漏水検出数は 19 ヶ所にとどまったが、今回の第 2 回漏水調査では予定機材がすべて投入され、また職員の技術も向上した。その結果配水管の地下漏水：17 ヶ所、給水管の地下漏水、17 ヶ所、給水管の地上漏水：22 ヶ所、合計 56 ヶ所の漏水箇所を発見することが出来た。(表 3-45 「第 2 回漏水調査結果」参照)

基本的には既存の鉄管用の漏水探索器では漏水を発見することが極めて困難であったが、今回投入した機材が現地の状況に十分適応し漏水を検出できることが証明できた。また、これら機材と現地に適合した探索手法を使い実際結果を出すことにより漏水発見認識のモチベーションが上がったことも一因である。したがって、漏水発見の 3 大要素としてハードウェア(漏水探索器)・ソフトウェア(手法/管網整備)・ヒューマンウェア(人的資産の運営)の両立が功を奏した結果となっている。

#### 【漏水探索機材の評価】

##### ➤ D305

目的：樹脂管 (PVC 管) の漏水箇所特定・配管路確認・水道管理設深度の確認

適合環境：・PDAM Tirtanadi が管理している配水管は、PVC 管が多く使用されており、水圧も低い DMA 地区内での漏水調査であったが送信機と受信機の電磁波の強弱の微調整によりの確に漏水箇所を特定することができた。

・他の管が輻射している場合誘導の影響を受けやすくなるが、送信機と受信機の距

離を短くすることにより、漏水箇所の特定が可能であった。

- ・配水管埋設位置の確立されていない DMA 地区内でも配水管埋設位置確にも利用できた。
- ・漏水箇所の特定後、水道管の埋設深度を確認することができた

不適合環境：地下水位が高い地域や給水管に金属管が使用されて輻輳に路上配管されている地域では、電磁波が拡散する現象が起きるため、漏水箇所の特定が困難であった。

➤ 相関式漏水探索器 AS610

目 的：広範囲(約 1Km)からの漏水箇所絞り込み検出

適合環境：・A センサー、B センサーを設置する金属部のある仕切弁、給水管、水道メーターが必要である。

- ・A・B センサーの距離を短くすることで的確に漏水箇所を特定することが出来た。
- ・塩ビ管の場合は配管を伝わる漏水音が届きにくい、ハイドロフォン併用で漏水箇所検出が可能になった。
- ・仕切弁、給水管、水道メーターがぬれている場合、布等で水分を拭き取り乾燥させてからセンサーを設置しないと効率が下がることを確認できた。

➤ 小型軽量漏水探索機

目 的：探査棒を取付け地上漏水調査、路面で漏水音を確認する地下漏水調査

適合環境：地上/地下漏水いずれの場合も漏水箇所を的確に特定することが出来た。

➤ 小型音聴式漏水探索機 ST04

目 的：水道メーターの金属部分に探査棒を接触する地上漏水調査

適合環境：地上漏水調査で漏水箇所を的確に特定することが出来た。

漏水調査機器の実証事業は、漏水調査機器が PDAM Tirtanadi の配水管 (PVC 管) で機能するかどうかの評価である。樹脂管に特化した漏水調査機材は十分機能することが確認された。「1.(2)普及・実証を図る製品・技術の概要」で説明した従来の金属管を想定して開発された漏水探知機の場合、鋳鉄管・ダクタイル鋼管等の金属管では管を伝達する漏水音を確認することはできるが、PVC 管等音を伝達しにくい材質に対しては漏水地点でないと確認できない欠点があった。今回開発した樹脂管用漏水探索・配管路探索器 PVC ロケーターD305 は水道管内に電磁波を送り込むことにより水道水を媒体として伝達する電磁波を受信することにより管路や漏水箇所を探索する機材のため、PDAM Tirtanadi で使用している樹脂管 (PVC 管) では確実に漏水箇所を特定することが出来た。

相関式漏水探索器 AS610 についても、配水管に設置してある仕切弁、給水管の金属管部分、水道メーターの金属部分に A センサー・B センサーを設置して実証事業を実施した。最初は、A・B 間の距離を 150m にして実証したが、各地区の条件がバラバラであるので最終的には、50m 間隔で確実に漏水位置を特定する方式に切り替えて実証した結果、漏水箇所を特定することが出来た。

早期発見、早期修理した結果、各 DMA 地区内の無収水率も低くなってきた。今後も引き続き漏水調査の実施と老朽管更新計画により配水管を新設管に取り換えれば更に無収水率は低くなっていくことが期待される。

表 3-45 第 2 回漏水調査結果

Leakage Survey Result					
DMA Name	Pipes	Leakage	How many Leakage	Leakage place Joint, varst, corrosion	Total Leakage
① CEMARA HIJAU	Distribution	Surface	0	joints	1
		Underground	1		
	Service	Surface	0		
		Underground	0		
② CEMARA ASRI	Distribution	Surface	0	Joints	6
		Underground	1		
	Service	Surface	5	Joints, Burst	
		Underground	0		
③ DISKI PADANG HIJAU	Distribution	Surface	0	Joints	2
		Underground	2		
	Service	Surface	0		
		Underground	0		
④ PADAN BULAN	Distribution	Surface	0	Joints	9
		Underground	1		
	Service	Surface	3	Burst	
		Underground	5		
⑤ TUASAN	Distribution	Surface	0	Joints	1
		Underground	1		
	Service	Surface	0		
		Underground	0		
⑥ DISKI BURNI ASRI	Distribution	Surface	0	Joints	1
		Underground	1		
	Service	Surface	0		
		Underground	0		
⑦ MEDAN LABUHAN	Distribution	Surface	0		12
		Underground	0		
	Service	Surface	4	Burst( Rubber Repair	
		Underground	8		
⑧ BELAWAN	Distribution	Surface	0	Joints, Burst	18
		Underground	7		
	Service	Surface	7	Burst	
		Underground	4		
⑨ Medan Kota	Distribution	Surface	0	Joints,	6
		Underground	3		
	Service	Surface	3	Burst( Rubber Repair	
		Underground	0		
Total	Distribution	Surface	0		56
		Underground	17		
	Service	Surface	22		
		Underground	17		

⑤国内作業 (2014 年 7 月～8 月)

ア. 漏水調査実施のための関連資料作成・情報収集作業

PDAM Tirtanadi 職員に対して本プロジェクトの概要及び漏水探索機の各機種の特徴や取扱方法を説明するためのパワーポイント資料を作成。

インドネシア水道協会発行の有力な情報雑誌「Air Minum」2014 年 7 月号にて、無収水削減をテーマに本事業の概要が掲載。(図 3-31 参照)

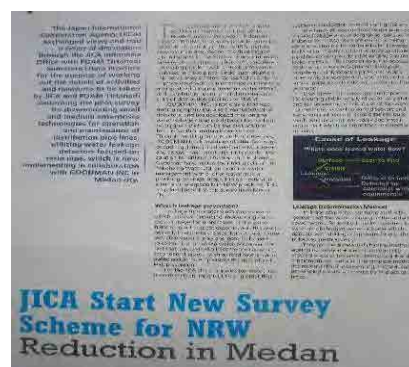


図 3-31 「Air Minum」 JICA Start New Survey Scheme for NRW Reduction



イ.7月1日から4日まで横浜市で開催した「The 3<sup>rd</sup>Executive Forum for Enhancing Sustainability of Urban Water Service in Asian Region」に出席した PREPAMSI 会長・公共事業省部長・PDAM Tirtanadi 局長及びアンドリー課長と、インドネシアの水道状況に関するデータ収集と今後の業務に関し協議を実施。

⑥第3回漏水調査：（2014年8月26日～2014年9月22日）

第3回漏水調査では漏水調査を通して無収水を削減し同時に漏水調査機器の有効性を検証する。と共にジャカルタで行われた日本水道協会及びインドネシア水道協会共催の研修会及び PDAM Tirtanadi 主催の無収水削減セミナーを通して漏水調査機器を広く周知することを目的とした。

表 3-46 第3回漏水調査日程

日付	内容
8月26日(火)	移動日：羽田→ジャカルタ
8月27日(水)	日本水道協会富岡氏、インドネシア水道協会 Mr. Rudie 氏と打合 デモンストレーション現場下見調査
8月28日(木)	漏水調査の開発・新規漏水調査機器と無収水削減対策手法の発表 漏水調査機器を使用して現場でのデモンストレーション(4ヶ所検出)
8月29日(金)	JICA ジャカルタ事務所富原さん・公共事業省菅原専門家へ報告
8月30日(土)	移動日：ジャカルタ→メダン
8月31日(日)	第3次調査資料作成及びメダン市内園地調査
9月1日(月)	PDAM Tirtanadi 局長へ表敬訪問/9月8日メダンセミナーについて協議
9月2日(火)	在メダン総領事館濱田総領事への表敬訪問及び第3次調査業務内容説明 7DMA 地区各所長と DMA 情報及び問題点について協議。日程調整。
9月3日(水)	M.Yamin 支社 Pukat1 地区漏水調査実施
9月4日(木)	メダン駅前及び Medan Kota 支社 Bogor 地区の漏水調査実施
9月5日(金)	セミナー資料作成
9月6日(土)	シボランゲ水源地・浄水施設視察、トバ湖の水質調査
9月7日(日)	セミナー発表資料作成及び準備
9月8日(月)	PDAM Tirtanadi 無収水対策セミナー開催、調査状況発表 北スマトラ州水道協会会長とビンジャイ市セミナー開催要請を協議 公共事業省菅原氏、インドネシア水道協会 Mr.Rudie 会長と協議
9月9日(火)	Medan Kota 支社 Bogor 地区漏水調査、スングル浄水場視察
9月10日(水)	Padan Bulan 支社 Citra Garden 地区漏水調査実施
9月11日(木)	Delitua 支社 Bersaudara 地区漏水調査実施 ビンジャイ水道局 Mr. Yusmanshayh 氏と OJT 研修について協議
9月12日(金)	Sunggal 支社 Tasbih 地区漏水調査及び漏水調査地区データ収集
9月13日(土)	漏水調査データ整理
9月14日(日)	漏水調査データ整理

9月15日(月)	ビンジャイ市水道公社セミナー及び機器デモンストレーション ビンジャイ市長表敬訪問
9月16日(火)	Sunggal 支社 Tasbih 地区漏水調査及び漏水調査地区データ収集
9月17日(水)	Sei Agul 支社 Amir Hamzah 地区漏水調査及び漏水調査地区データ収集
9月18日(木)	第3回漏水調査資料整理
9月19日(金)	第3回漏水調査報告会
9月20日(土)	報告書作成
9月21日(日)	北スマトラ州水道公社 109 周年記念式典参加 移動：メダン→ジャカルタ→羽田（9月22日到着）

#### ア. 第3回漏水調査地区の選定

DMA 地区の選定については、第2回漏水調査と同じ方式で DMA 地区の選定、各事務所責任者の水道施設の情報提供、問題点を発表してスケジュール調整を行った。

第3回漏水調査調査の各 DMA 地区の情報は以下の通りである。

表 3-47 第3回 DMA 地区選定結果の水道情報

	Branches	DMA	Customer	Water Pressure	Pipe Material	Pipe Length	Const- ruction	Inled point	NRW (%)	Water Supply	Lea- kage	Note
No.1	M.YAMIN	Pukat 1	135(150)	0.1 Bar	PVC	2inch 800m 3inch 171m	2008	3	23%	24 hour		
No.2	SEI AGUL	Amir Hamzah	500	0.1 Bar	PVC	2inch 100m 3inch 880m 4inch 150m 6inch 200m	1992	4	32%			
No.3	DELI TUA	Tani Bersaudara	560	0.8 Bar	PVC	2inch 2000m 3inch 2100m 4inch 2200m 6inch 1000m	2008	1	53%	24hour		
No.4	BELAWAN	Bagan Deli	40	0.4 Bar	PVC	2inch 2207m 3inch 2071 4inch 506m 6inch 1400m	1995	1	67%	17:00- 22:00		Industrial Area
No.5	MEDAN KOTA	Bogor	330	0.3 Bar	PVC	2inch 180m 3inch 2100m 4inch 95m		1	67%			
No.6	SUNGGAL	Tasbih	2287	0.8 Bar	PVC	3 & 4 inch 3500m	2004	3	45.57%	24hour		
No.7	PDAN BULAN	Citra Garden	440	0.5 Bar	PVC	3 & 4 inch 3500m	2004		46%	5:00- 13:00		Illegal connection
No.8	MEDAN KOTA			0.5 Bar	PVC							

今回は、ジャカルタでのインドネシア水道協会主催の研修会の出席や 2014 年 9 月 8 日のメダンセミナーの準備のため、時間的にステップテストを行うことができなかった。よって各事務所責任者からの情報に基づき協議の上、パイロット地区を選定した。

#### イ. 漏水調査事前準備

第1回漏水調査では、PVC 管に適用された新しい漏水調査機器の説明と無収水削減するための漏水調査の重要性についての説明と OJT 方式による知識を習得した。第2回漏水調査では、地上漏水、地下漏水調査を各班ごとに実施して漏水調査を実施したところ、職員間の能

力の差が出てきた。

今回の第3回漏水調査では、漏水管理係の職員を責任者にして各配水管理事務所職員の技術レベル向上を目指すため、習熟度に応じて漏水調査班を2班に編成、理解が遅い職員は比較的安易な地上漏水調査班へ、理解が進んでいる職員は地下漏水調査班へ振り分けて実証事業を行った。

表 3-48 漏水調査内容

調査名称	漏水調査機器	内 容
夜間最少流量調査	超音波流量計(2台) 高精度デジタル圧力計	区画内へ流入する流量を測定する。この流量は、漏水量と使用量が含まれるため、漏水エリアを推測するための情報となる。
地上漏水調査	小型軽量漏水探索機 小型音聴式漏水探索機 ST04 音聴棒	地下埋設管の継ぎ手部分からの漏水や地上に水が漏れ出ている漏水の調査。目視ならびに水道メーターや各家の前に幅1m位の水路を横断している給水管に探查棒を接触させて音聴調査を行った。
地下漏水調査	D305 樹脂管漏水探索器、 相関式漏水探索器 AS610 小型軽量漏水探索機	<p>地下に埋設された配水管からの漏水箇所を特定する調査。</p> <p><u>D305 の使用方法：</u></p> <p>配水管上の仕切弁又は水路を横断している給水管の水道メーター金属部に D305 の送信機を設置し、水道管内の水を通して電磁波を受信することで配管路を確認し、信号音が弱くなる地点から漏水箇所を絞り込む。</p> <p><u>AS610 の使用方法</u></p> <p>配水管に設置してある水道仕切弁又は水路を横断している給水管の水道メーター金属部分にセンサーを (A 点/B 点) 設置して AB 点間で漏水箇所の検出を行う</p> <p><u>小型軽量漏水探索使用方法</u></p> <p>漏水地点を絞り込んだ後、最後の音聴確認に使用する。</p>

ウ. 第3回漏水調査結果

a. M.Yamin 支社 Pukat1 地区の調査(2014年9月3日)

Pukat1 地区は、Akusara 通り (図 3-33 参照) に商店街を有する住宅地である。水圧が 0.1 bar で午前中は水道水が出るが午後から水圧はゼロとなり水道管の水もなくなるため昼間の漏水調査は難しい。早朝か夜間の作業が望ましい。



図 3-32 Pukat1 地区漏水調査



図 3-33 M.Yamin 支所 Pukat1 地区 漏水調査及び漏水地点

地上漏水調査：小型軽量漏水探索機ポケットフォン、小型音聴式漏水探索機 ST04 による音聴調査を通して給水管からの継手部分・給水管の腐食している部分の漏水調査を行った(図 3-32 参照)。3ヶ所の漏水と思われる箇所があったが(図 3-33 青丸印)、その後水圧がなくなったため、最終確認と掘削修理は延期となった。この箇所の流出量は流出音を音聴で確認することにより概算で算出した値である。

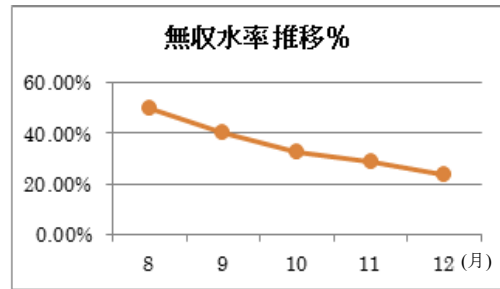
表 3-49 M. Yamin 支所 Pukat 地区 漏水量の計測

	漏水タイプ	漏水箇所	流出量ℓ/分	流出量m <sup>3</sup> /月
配水管	地下漏水	①	31	1,320
給水管	地上漏水	②調査のみ	3	120
		③調査のみ	3	120
		④調査のみ	3	120
合計			39	1,680

表 3-49 の「調査のみ」の漏水箇所は第 3 回漏水調査終了後 9 月末に職員により再調査・修理済みである。

表 3-50 M. Yamin 支所 Pukat 地区流入量・使用水量・無収水率の推移

月	給水戸数	生産量	消費量	無収水	
				m <sup>3</sup>	%
8	150	6,599	3,320	3,279	49.69%
9	150	5,749	3,425	2,324	40.42%
10	150	4,880	3,280	1,600	32.79%
11	152	5,069	3,608	1,461	28.82%
12	153	4,990	3,824	1,166	23.37%



b. Sei Agul 支社 Amir Hamzah 地区の漏水調査結果(2014年9月17日)

AS610 の探索精度をあげている補助接続器ハイドロフォンの設置のためには消火栓など水道水との接点が必要である。メダンの場合そのような取付口があらかじめ備わっているところは少ないため、図 3-34 のように住民の協力のもと各住宅の水道栓を利用する方法でこれまで大きな効果を上げてきている。ところが高級住宅街の Sei Agul 地区においては、ほとんどの家の門が閉まっており団員は住民との接触ができないため、他の住宅街と比較して給水管の漏水調査が難しい地区である。よって可能な限り水道メーター箇所での漏水調査を行うこととした。



図 3-34 AS610 の宅内給水設備への設置



図 3-35 Amir Hamzah 地区小型軽量漏水探索による漏水調査

No.2 SEI AGUL AMIR HAMZAH



図 3-36 Sei Agul 支社 Amir Hamzah 地区

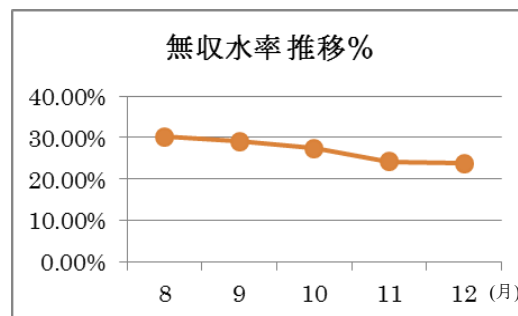
図 3-36 に示されたように、この地区では 2ヶ所の給水管地上漏水を発見した。流出量は表 3-51 の通りである。

表 3-51 Sei Agul 支社 Amir Hamzah 地区 漏水量の計測

	漏水タイプ	漏水箇所	流出量 ℓ/分	流出量 m <sup>3</sup> /月
給水管	地上漏水	①	9	400
給水管	地上漏水	②	10	435
合計			19	835

表 3-52 Sei Agul 支社 Amir Hamzah 地区 流入量・使用水量・無収水率の推移

月	給水戸数	生産量	消費量	無収水	
				m <sup>3</sup>	%
8	700	27,519	19,221	8,298	30.15%
9	700	27,822	19,727	8,095	29.10%
10	700	27,282	19,819	7,463	27.36%
11	700	27,169	20,586	6,583	24.23%
12	700	27,158	20,689	6,469	23.82%



c. Delitua 支部 Tani Bersaudara 地区漏水調査結果(2014年9月11日)

漏水調査地域が広い住宅街のため、漏水報告が多い地区に絞って調査を実施した。下水道に流れる水道を発見したため (DPD 試薬により残留塩素があることを確認)、かなり大きな漏水があることが予想された。AS610 の A・B センサーをそれぞれ仕切弁と水道メーターに設置し相関検査すると漏水箇所を表す波形が確認できた。さらに検出場所近辺を D305 により絞り込み調査、小型軽量漏水探索機を用いてφ6inch のジョイント部の漏水を発見した。推定漏水量 (5ℓ/秒) と大きい漏水であるが、5 年前に既存の漏水探索機で調査を行ったが漏水箇所が特定できなかった場所で、図 3-38 の④にあたる箇所である。原因は図 3-37 にあるように配管つなぎ目からの漏水であった。修繕後、下水道を流れる水道水は止まった。

1 日で検出したこの地区の漏水箇所の流出全体量は約 33,500 m<sup>3</sup>/月 (表 3-53 参照) と膨大な水量であり、表 3-54 で確認できるとおり、調査前 8 月から調査月 9 月と比較しても相当量の無収水が減少している。この地区は生産された水道水のほとんどが流出していた状態であった。依然として高い数値であるので今後も現地職員による調査が必要である。



図 3-37 Tutup Nati 地区漏水現場

### No.3 DELITUA TUA TANI BERSAUDARA

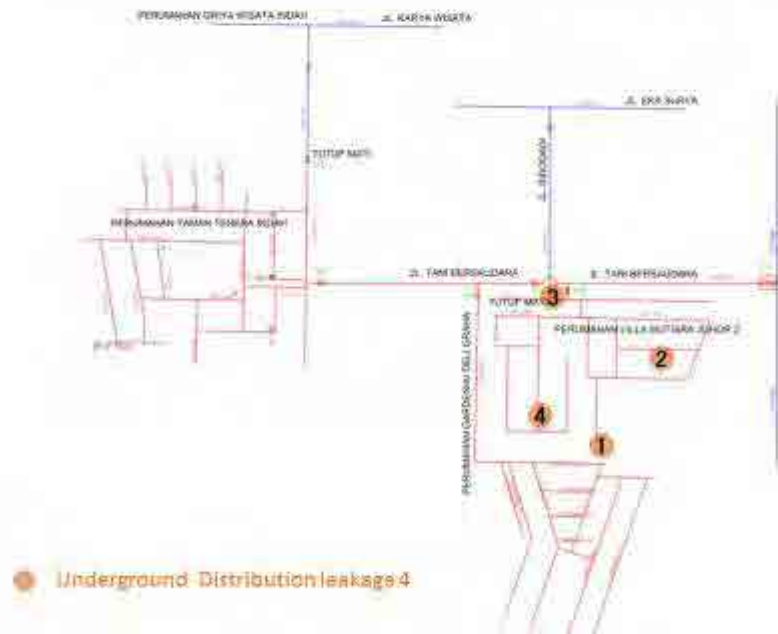


図 3-38 Delitua Bersaudara 地区 漏水調査及び漏水地点

表 3-53 Delitua 支所 Bersaudara 地区 漏水量の計測

	漏水タイプ	漏水箇所	流出量ℓ/分	流出量m <sup>3</sup> /月
配水管	地下漏水	①	498	21,500
	地上漏水	②	104	4,500
		③	104	4,500
		④	69	3,000
合計			775	33,500

表 3-54 Delitua 支所 Bersaudara 地区 流入量・使用水量・無収水率の推移

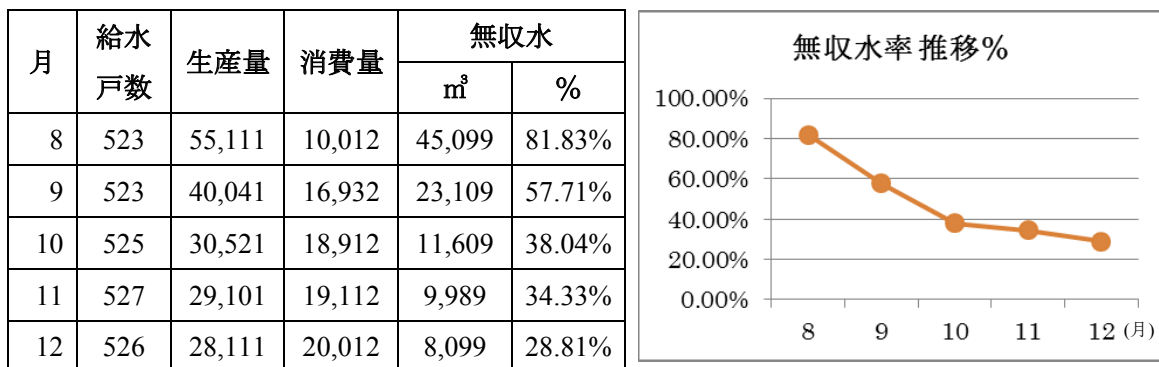




図 3-39 Delitua 支所 Bersaudara 地区 漏水状況

d. Medan Kota 支社 Bogor 地区漏水調査実証結果(2014 年 9 月 4 日、9 日)

Medan Kota 支社 Bogor 地区は、メダン市内の中心部で商店街、事務所の多い地区である。車の往来も激しく騒音も多い。また、下記のような商業地区特有の状況下から、漏水調査には多くの時間を要した。

配管分岐が多い : D305 は本管調査の際、分岐のある個所では電磁波が 2 分されることが原因で受信信号強度が低下するため漏水地点検出の際の反応と区別がつかない。反対に分岐の有無の確認に利用できる。

AS610 の場合は、分岐箇所で起こる渦流音がソケット部漏水音と酷似した波形を示し判別が難しい。

使用水停止不可 : AS610 をハイドロフォン併用の水相関で利用する際、配管内の水の状態が静かな状態が望ましい。商業地区の場合、住宅街のように区間内の使用水を制限して良い条件を整えることは難しい。

止水栓接続不可 : 住宅街のように商店街や大型ビルの止水栓に AS610 センサーをその場所に取り付けることは難しく、探索機設置場所が限定される。

舗装されている : 試掘、ボーリング等行うことが難しい。

上記の状況を踏まえ、まず D305 で配管路と分岐箇所の有無を確認する路上調査をした上で分岐不在箇所を把握し、分岐不在区間で信号強度が落ちるなど漏水の疑わしい地点を検出する都度、AS610 とハイドロフォンを併用して漏水の有無を顕在化する手法で、地下漏水の探索を遂行した。





図 3-40 Bogor 地区 D305 による調査

図 3-41 Bogor 地区 AS610 センサー設置

条件的には厳しいものの、D305 及び AS610 の水相関を併用することにより、このような地区における漏水探索も可能であることが実証された。尚、車両の往来が非常に激しい地域であるため、従来の音聴による地上漏水調査は騒音や使用水の少ない夜間以外は難しいことがわかった。D305 及び水相関による AS610 で検出された箇所は、小型音聴式漏水探索機の音聴棒を差し込んで最終チェックをしてから掘削を行った。その結果、図 3-42 に示された箇所に配水管地下漏水を検出した。一箇所であったが表 3-55 にあるように、月にすると約 3,645 m<sup>3</sup>の流出量なので比較的大きな漏水箇所であったため、その効果が表 3-56 の無収水率の推移で確認できる。

### No.5 MEDAN KOTA BOGOR



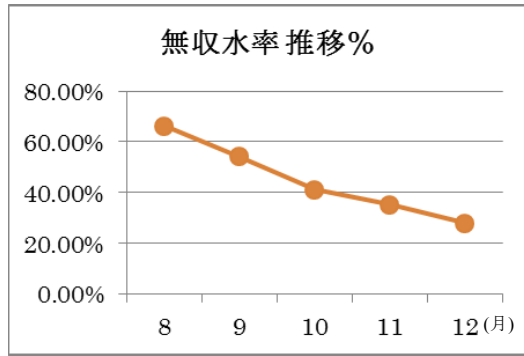
図 3-42 Medan Kota 支所 Bogor 地区漏水調査及び漏水地点

表 3-55 Medan 支所 Kota Bogor 地区 漏水量の計測

	漏水タイプ	流出量ℓ/分	流出量ℓ/分	流出量m <sup>3</sup> /月
配水管	地下漏水	150	84	3,645

表 3-56 Medan 支所 Kota Bogor 地区 流入量・使用水量・無収水率の推移

月	給水戸数	生産量	消費量	無収水	
				m <sup>3</sup>	%
8	320	16,005	5,397	10,608	66.28%
9	320	16,087	7,381	8,706	54.12%
10	320	16,893	9,930	6,963	41.22%
11	320	16,861	10,940	5,921	35.12%
12	320	16,551	11,931	4,620	27.91%



e. Sunggal 支社 Tasbih 地区漏水調査結果 (9月12日)

DMA エリアとしてはかなり広いエリアであるため、今後細分化する必要がある。調査地区を絞り配水区域を2区域選定し、3班に分かれて調査を実施した。

地上漏水チーム(2班/各3名): 小型軽量漏水探索機・小型音聴式漏水探索機 ST04 による給水管・水道メーター箇所での漏水調査

地下漏水チーム(1班/各4名): D305・AS610・小型軽量漏水探索機による調査

この地区は、交通量も少ない住宅街であり PDAM Tirtanadi 職員が主体となって漏水調査実証を実施した。目視による調査で給水管地上漏水を3ヶ所検出できた(図 3-43 緑丸印)。目視による調査で相当数の漏水を発見できる可能性がある地域である。地下漏水チームも D305 及び相関式漏水探索器 AS610 機器を基本の手法で効果的に利用し、配水管地下漏水2ヶ所(橙丸印) 及び給水管地下漏水4ヶ所(赤丸印) 合計6ヶ所の漏水を発見した。



図 3-43 Sunggal 支社 Tasbih 地区

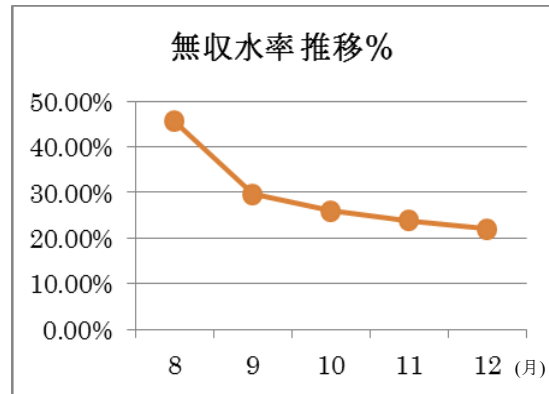
表 3-57 は各漏水箇所からの流出量の測定結果である。配水管からの漏水が大きかったため流出量の合計は約 32,405 m<sup>3</sup>/月となった。

表 3-57 Sunggal 支所 Tasbih 地区 漏水量の計測

	漏水タイプ	漏水箇所	流出量ℓ/分	流出量m <sup>3</sup> /月
配水管	地下漏水	①	463	20,000
		②	232	10,000
給水管	地下漏水	③	19	800
		④	14	600
		⑤	9	400
		⑥	7	300
	地上漏水	⑦	3	130
		⑧	3	130
		⑨	1	45
合計			751	32,405

表 3-58 Sunggal 支所 Tasbih 地区 流入量・使用水量・無収水率の推移

月	給水戸数	生産量	消費量	無収水	
				m <sup>3</sup>	%
8	2,287	125,811	68,484	57,327	45.57%
9	2,283	97,005	68,227	28,778	29.67%
10	2,285	95,911	71,005	24,906	25.97%
11	2,286	93,115	70,985	22,130	23.77%
12	2,288	93,435	72,867	20,568	22.01%



f. Padan Bulan 支所 Citra Garden 地区漏水調査結果 (9月10日)

この地区も住宅街であるが、静かな地域であり地上漏水班と地下漏水班に分かれて漏水調査を実施した。地下漏水調査で4ヶ所配水管からの漏水音を確認したが(図3-44 青丸印)、この地区は時間給水のため(5:00-13:00)給水終了し水圧がなくなったため、今回の調査は中断し第4回漏水調査の際改めて再確認した。

■日本人調査職員2名は各住宅を訪問して漏水に関する意見を収集した。

- ・メーター検針職員がメーターを検針していると思うが住民と会話したことがない
- ・水道メーター付近で微量の水道水が漏れているが指導されたことがない
- ・住民に対してもっと情報提供してほしい

といった意見が出された。

PDAM Tirtanadi 職員の漏水調査方法、漏水探査機の使い方、漏水調査技術の習得・お客様に接する会話、お客様の満足する水道技術を伝えようとする技術の習得等が必要であることが十分に理解できた。

## No.7 PDAN BULAN CITRA GARDEN



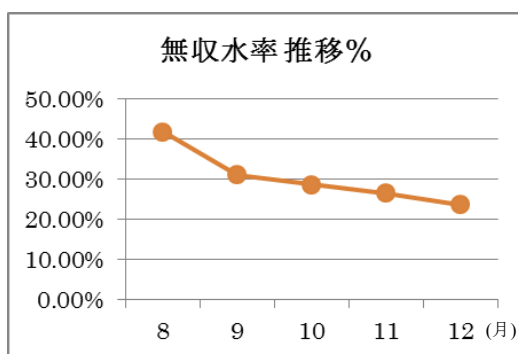
図 3-44 Pdan Bulan 支社 Citra Garden 地区

表 3-59 Pdan Bulan 支社 Citra Garden 地区の漏水量の計測

	漏水タイプ	漏水箇所	流出量ℓ/分	流出量m <sup>3</sup> /月
配水管	地下漏水	①	32	1,400
		②	6	250
給水管	地下漏水	③	7	300
		④	4	170
合計			49	2,120

表 3-60 Pdan Bulan 支社 Citra Garden 地区 流入量・使用水量・無収水率の推移

月	給水戸数	生産量	消費量	無収水	
				m <sup>3</sup>	%
8	440	15,779	9,192	6,587	41.75%
9	440	15,049	10,392	4,657	30.95%
10	440	15,659	11,192	4,467	28.53%
11	442	15,879	11,681	4,198	26.44%
12	442	15,959	12,192	3,767	23.60%



### イ. 第3回漏水調査結果

6DMA 地区を対象に漏水調査機器を使用して漏水調査を行った結果、配水管の地下漏水調査で9ヶ所、給水管の地下漏水調査で4ヶ所、地上漏水で5ヶ所、計18ヶ所検出した。また職員が自発的に行った Medan Kota 支社の漏水調査では、配水管の地下漏水調査で2ヶ所、給水管の地上漏水で10ヶ所の計12ヶ所、あわせて30ヶ所の漏水を発見して修理を行った。

今回の調査で検出した漏水箇所の流出量合計は約 33,000 m<sup>3</sup>/月であった。商業地区や住民の協力が得られない地域、時間給水など調査が難しい場所もあったが、漏水調査機器の調査手法を工夫することで、結果を出すことはできた。

実証事業で使用している漏水探索機は、現場に適した手法により PDAM Tirtanadi の配水管に十分効果がでることが分かり、無収水削減及び漏水調査に大きく貢献することが確認された。

表 3-61 第 3 回漏水調査で実施した事業結果

No.	Branches	DMA	Customer	Water Pressure	Pipe Material	Pipe Length	Construction	Inlet point	NRW (%)	Water Supply	Leakage				Note
											Surface Service pipe	Underground Service pipe	Surface Distribution pipe	Underground Distribution pipe	
No.1	M.YAMIN	Pukat 1	188(150)	0.1 Bar	PVC	2inch 800m 3inch 171m	2008	3	23%	24 hour	Surface Service pipe	0			
											Underground Service pipe	0			
											Surface Distribution pipe	0			
											Underground Distribution pipe	2			
No.2	SEI AGUL	Amir Hamzah	500	0.1 Bar	PVC	2inch 100m 3inch 880m 4inch 150m 6inch 200m	1992	4	32%		Surface Service pipe	2			
											Underground Service pipe	0			
											Surface Distribution pipe	0			
											Underground Distribution pipe	0			
No.3	DELI TUA	Tani Bertaudara	560	0.8 Bar	PVC	2inch 2000m 3inch 2100m 4inch 2200m 6inch 1000m	2008	1	53%	24hour	Surface Service pipe	0			
											Underground Service pipe	0			
											Surface Distribution pipe	0			
											Underground Distribution pipe	3			
No.4	BELAWAN	Egan Deli	40	0.4 Bar	PVC	2inch 2207m 3inch 2071 4inch 506m 6inch 1400m	1995	1	67%	8:00-22:00	Surface Service pipe	0	Industrial Area		
											Underground Service pipe	0			
											Surface Distribution pipe	0			
											Underground Distribution pipe	0			
No.5	MEDAN KOTA	Bogor	330	0.3 Bar	PVC	2inch 180m 3inch 2100m 4inch 95m		1	67%		Surface Service pipe	0			
											Underground Service pipe	0			
											Surface Distribution pipe	0			
											Underground Distribution pipe	1			
No.6	SUNGGAL	Tatbin	2287	0.8 Bar	PVC	3 & 4 inch 3500m	2004	3	45.57%	24hour	Surface Service pipe	3			
											Underground Service pipe	4			
											Surface Distribution pipe	0			
											Underground Distribution pipe	2			
No.7	PADAN BULAN	Citra Garden	440	0.5 Bar	PVC	3 & 4 inch 3500m	2004	1	46%	8:00-18:00	Surface Service pipe	0	Illegal connection		
											Underground Service pipe	0			
											Surface Distribution pipe	0			
											Underground Distribution pipe	0			
TOTAL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Surface Service pipe	5	TOTAL LEAKAGE 18 points		
											Underground Service pipe	4			
											Surface Distribution pipe	0			
											Underground Distribution pipe	9			
No.8	MEDAN KOTA				PVC						Service Pipe	10	Water Loss Control Div. finded Leakage without JAPAN Team. So they have sufficient skill & knowledge to detect Leak point		
											Distribution Pipe	2			

2014年9月19日の現地報告会の席上にて PDAM Tirtanadi 幹部職員に対し、職員全員を対象に人材育成を目的にした以下項目にかかる研修が重要であることを説明。同幹部職員は、研修業務課を中心に 2015 年以降これらの研修を行う方向で合意した。

- 人材能力開発(管理者研修/技術者研修)
- 個人の能力に応じた人材育成
- 顧客満足度
- 水道メーター計測能力向上
- 配管修理技術の向上

第3回漏水調査で、第2回漏水調査と同じ方式を用い、地上漏水調査及び地下漏水調査を実施した。商業地区や住宅街など漏水箇所探索が難しい地域もあったが、確認作業に時間はかかりながらも漏水箇所を検出するなど、一定の効果は確認できた。PDAM Tirtanadi 職員については、漏水調査機器の取扱い方で不慣れなところもあったが、積極的に漏水調査を実施し漏水箇所を発見し業者に修理指示するなど技術的にも習熟してきた職員もみられるようになった。

⑦第4回漏水調査：(2015年2月1日～2015年2月28日)

第4回漏水調査では第1次～第3回漏水調査において探索困難であった環境における漏水調査及び手法を再検証すること、また公共事業省とインドネシア水道協会共催のセミナーに参加し本事業の成果を周知し漏水調査機器の普及を図る事を目的とした。

表 3-62 第4回漏水調査日程

日付	内容
2月1日(日)	移動日：羽田→ジャカルタ→メダン市
2月2日(月)	TIRTANADI 局長表敬訪問及び漏水管理課打ち合わせ
2月3日(火)	在メダン総領事館濱田総領事への表敬訪問及び第4次調査業務内容説明
	漏水管理課と打ち合わせ
2月4日(水)	漏水管理課、各支社とパイロットエリアについて打ち合わせ
2月5日(木)	Deli Tua 支社 Perum BSD 地区漏水調査及び漏水調査地区データ収集
2月6日(金)	Deli Tua 支社 Perum BSD 地区、Tuasa 支社 Gaharu 通り漏水調査及び漏水調査地区データ収集
2月7日(土)	漏水調査データ整理、最終報告会準備
2月8日(日)	漏水調査データ整理、最終報告会準備
2月9日(月)	Labuhan 支社 minimalis 地区漏水調査実施
2月10日(火)	Belawan 支社 Bagan Deli 地区漏水調査実施、夜間時漏水調査及び step test
2月11日(水)	Belawan 支社 Bagan Deli 地区漏水調査実施
2月12日(木)	Amplas 支社 Villa Permata 地区、Tuasa 支社 Gaharu 通り漏水調査及び漏水調査地区データ収集
2月13日(金)	Tuasa 支社 Gaharu 通り漏水調査及び漏水調査地区データ収集
2月14日(土)	漏水調査データ整理、最終報告会準備
2月15日(日)	漏水調査データ整理、最終報告会準備
2月16日(月)	Deli tua 支社一般家庭宅地内漏水調査実施
2月17日(火)	Sunggal 支社 Waikiki 地区漏水調査及び漏水調査地区データ収集
2月18日(水)	Belawan 支社 Sicanang 地区漏水調査及び漏水調査地区データ収集
2月19日(木)	Siborangi 浄水場視察
2月20日(金)	漏水管理課とプロジェクト投入機器の評価について打ち合わせ
2月21日(土)	漏水調査データ整理、最終報告会準備
2月22日(日)	漏水調査データ整理、最終報告会準備

2月23日(月)	最終報告会
2月24日(火)	Tuasa 支社 Gaharu 通り漏水調査及び漏水調査地区データ収集 インドネシア国公共事業省にて、Life Sycle Cost のセミナー発表 公共事業省水道関係部署と技術協力プロジェクトについて協議
2月25日(水)	Tuasa 支社 Gaharu 通り漏水調査及び漏水調査地区データ収集 公共事業省水道関係部長とメダン事業について報告 インドネシア国水道協会と今後の技術協力について協議
2月26日(木)	漏水調査データ整理、移動メダン市→ジャカルタ市 バンドン市水道公社と NRW Reduction についてセミナー開催
2月27日(金)	公共事業省協議、インドネシア国水道協会協議、漏水調査データ整理 移動 ジャカルタ市→国際空港 深夜：ジャカルタ空港 → 東京羽田
2月28日(土)	東京羽田空港到着 帰国

#### ア. 漏水調査地区の選定

第1次～第3次までの調査において特に漏水検出が困難であった状況に対する有効な探索手法を探索・実証するため下記にあてはまる地区をあらかじめ選定しておくよう手配した。

(選定理由)

- a. 基礎地盤で地下水位の高い地域《No.4,5,6》
- b. 商業地域など地下埋設管が輻輳されている道路
- c. 高台等で地盤の乾燥している地区《探査棒を延長した音聴式漏水探索機》《No.2》
- d. 水圧の低い地区《No.1・No.2・No.5》
- e. 交通量の多い道路・交差点《AS610+ハイドロフォンで検証》
- f. 仕切弁・消火栓が少なく、民家の水栓も利用できない地区《D305 2台》
- g. 違法接続の調査《No.6》
- h. 給水管（宅内含む）の漏水検出《水素式漏水探索機》

第4回漏水調査の各 DMA 地区の情報は次の通り(事項)である。

表 3-63 第 4 回漏水調査パイロット地区

	Branches (選定理由)	DMA	Customer	Water Pressure	Pipe Material	Pipe Length	Construction	Inlet point	NRW (%)
No.1	AMPLAS (d)	Villa Permata	227	0.4kg/m <sup>2</sup>	PVC	3inch 768m 4inch 337m	2005	1	27%
No.2	SUNGGAL (c / d)	Komp Wakiki	602	0.3-0.7kg/m <sup>2</sup>	PVC	2inch 690m 3inch 1110m 4inch 1500m	2003	1	45%
No.3	DELI TUA	Perum. BSD	402	0.35 kg/m <sup>2</sup>	PVC	2inch 1094m 3inch 1603m 4inch 1314m 6inch 1318m	1995	1	28%
No.4	BELAWAN (a)	Bagan Deli	489	0.3-1.4kg/m <sup>2</sup>	PVC	3inch 211m 4inch 287m 6inch 1696m	1985	1	25%
No.5	BELAWAN (a / d)	Sicanang	1445	0.7kg/m <sup>2</sup>	PVC	3inch 3355m 4inch 16m	1985	1	28%
No.6	LABUHAN (g)	Komp Minimalis	245	0.8kg/m <sup>2</sup>	PVC	2inch 261m 3inch 1352m 6inch 425m	2005	1	20 %



イ. 漏水調査事前準備

今回の漏水調査では、AS610 と D305 を用いて配水管を重点的に調査する班と、小型音聴式漏水探索機 ST04 とスマートフォンを用いて給水管を重点的に調査する班の 2 班体制で実施した。

表 3-64 漏水調査内容

調査名称	漏水調査機器	内 容
夜間最少流量調査	超音波流量計(1 台) 高精度デジタル圧力計	区画内へ流入する流量を測定する。この流量は、漏水量と使用量が含まれるため、漏水エリアを推測するための情報となる。
地上漏水調査	小型軽量漏水探索機 小型音聴式漏水探索機 ST04 音聴棒	地下埋設管の継ぎ手部分からの漏水や地上に水が漏れ出ている漏水の調査。目視ならびに水道メーターや各家の前に幅 1m 位の水路を横断している給水管に探查棒を接触させて音聴調査を行った。
地下漏水調査	D305 樹脂管漏水探索器、 相関式漏水探索器 AS610 +ハイドロフォン 小型軽量漏水探索機 音聴棒	<p>地下に埋設された配水管からの漏水箇所を特定する調査。今回の調査では、AS610 のセンサー設置場所に D305 の発信器を設置して同時に調査することで、漏水発見の確実性を高める、違法接続を発見することを目的とした。</p> <p><u>D305 の使用方法</u></p> <p>配水管上の仕切弁又は水路を横断している給水管の水道メーター金属部に D305 の送信機を設置し、水道管内の水を通して電磁波を受信することで配管路を確認し、信号音が弱くなる地点から漏水箇所を絞り込む。</p> <p><u>AS610 及びハイドロフォンの使用方法</u></p> <p>配水管に設置してある水道仕切弁又は水路を横断している給水管の水道メーター金属部分にセンサーを(A 点/B 点) 設置、もしくはハイドロフォンを水栓に取付けセンサーに接続し、AB 点間で漏水箇所の検出を行う。</p> <p><u>小型軽量漏水探索使用方法</u></p> <p>漏水地点を絞り込んだ後、最後の音聴確認に使用する。</p>

ウ. 第 4 回漏水調査結果

a. Amplas 支社 Villa Perma 地区の調査(2015 年 2 月 12 日)

Villa Peruma 地区は住宅地となっており、DMA 流入地点での水圧が 0.1~0.2kgf/cm<sup>2</sup>と

非常に低い。

### D305

この地区は 220V の高電圧線が配水管路上部に低く何本も配電されているため、(図 3-45)受信機が配管内の信号音でなくより強い電線の磁場を受信してしまうこと、また鉄格子や鉄線の入ったブロック舗装の道路の影響等により、D305 による探索はできなかった。



図 3-45 Villa Peruma 地区低く配線された高電圧線

### 610+ハイドロフォン

分岐点より各方面への漏水箇所を調査したが、大きな漏水箇所は検出されなかった。水圧が非常に低く ( $0.1\sim 0.2\text{kgf/cm}^2$ ) ハイドロフォンのエア抜きができず確実な設置ができない箇所があった。

### 音聴式漏水探索機

圧力が低く検出は難しかった。夜間業務として再度調査することを C/P 側へ提言した。この地区では結局漏水箇所が検出できなかったが、メーター故障や未収水水道料金等の可能性も考えられるので、これについても調査するよう C/P 側へ提言した。



図 3-46 Villa Peruma 地区 調査

(左) 水圧計設置状況

(中央) AS610+ハイドロフォン設置

(右) D305 設置

# No.1 AMPLAS Villa Permata

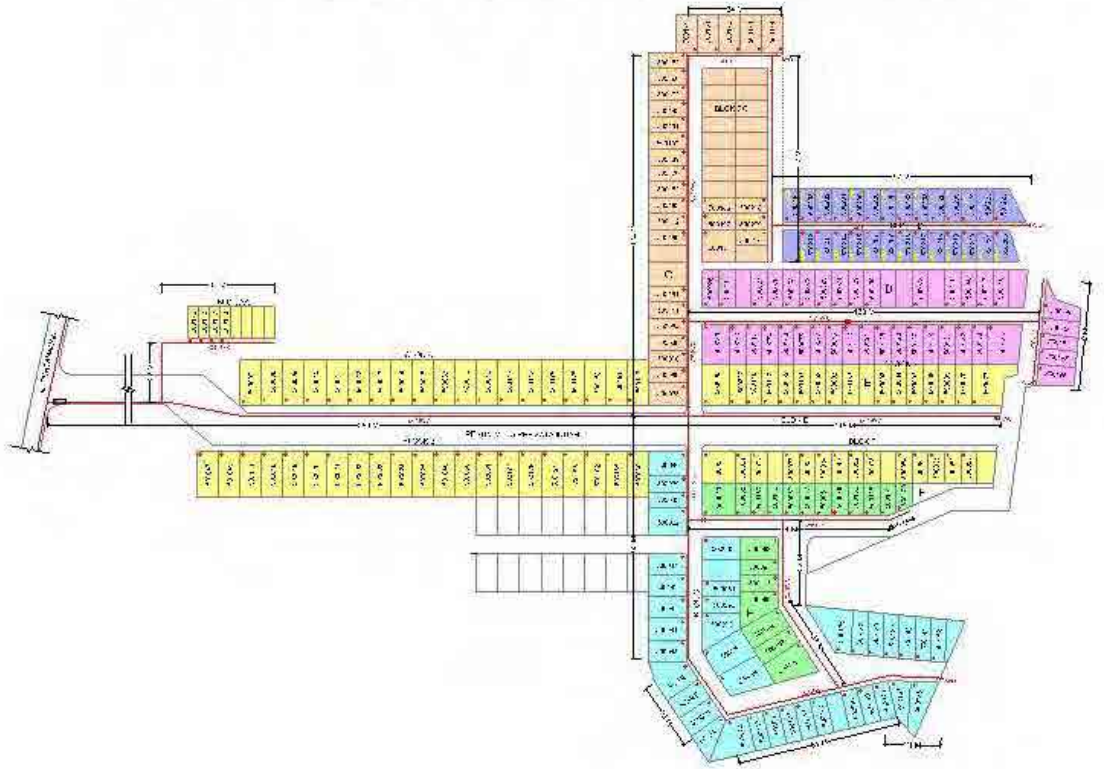


図 3-47 Amplas 支社 Villa Perma 地区 漏水調査及び漏水地点

## b. Sunggal 支社 Komp Waikiki 地区の漏水調査結果(2014 年 2 月 17 日)

Komp Waikiki 地区の水源は深井戸水を使用しており、地下水位が低く水圧も 0.3～0.7kgf/cm<sup>2</sup>と低い。

### D305

低い地下水位に対応するため、音聴棒(現地製作)を利用して地面深く確実にアースをとった。この結果、配管内の信号が受信しやすくなる事が確認できた。

また、ひとつの調査手法の試みとして、AS610 を D305 と同箇所に同時に設置して調査した結果、それぞれの結果を複合的に判断することができ、漏水箇所特定の確実性と効率性が向上した。



図 3-48 Waikiki 地区  
AS610+D305 設置状況



図 3-49 Waikiki 地区  
音聴棒を利用して確実に接地

## No.2 SUNGGAL Komp Waikiki



図 3-50 Sunggal 支社 Komp Waikiki 地区 漏水調査及び漏水地点



図 3-51 Waikiki 地区  
D305 による配水管調査



図 3-52 Waikiki 地区  
ST04 による給水管漏水調査

表 3-65 Sunggal 支社 Komp Waikiki 地区 漏水量の計測

	漏水タイプ	漏水箇所	流出量 ℓ/分	流出量 m <sup>3</sup> /月
管配水管	地下漏水	①	30	2160
給水管	地下漏水	②	1	45
		③	1	45
		④	1	45
合計			33	2295

c. Deli Tua 支部 Peruma BSD 地区漏水調査結果(2015年2月5、6日)

Peruma BSD 地区は地盤高の高低差が 10m以上あり、流入点での水圧と末端部での水圧差が 1kgf/m<sup>2</sup>ほどある地域である。

今回の調査では AS610 と D305 により配水管の漏水を発見することはできなかったが、地上給水管漏水を二ヶ所発見という結果となった。末端部での水圧が 1kgf/m<sup>2</sup>高いため、末端部を中心に配水管を調査するよう C/P へ提言した。



図 3-53 Peruma BSD 地区

(左)漏水調査状況

(中央) AS610+D305 設置状況

(右)給水管からの漏水

## No.3 DELI TUA Perum BSD

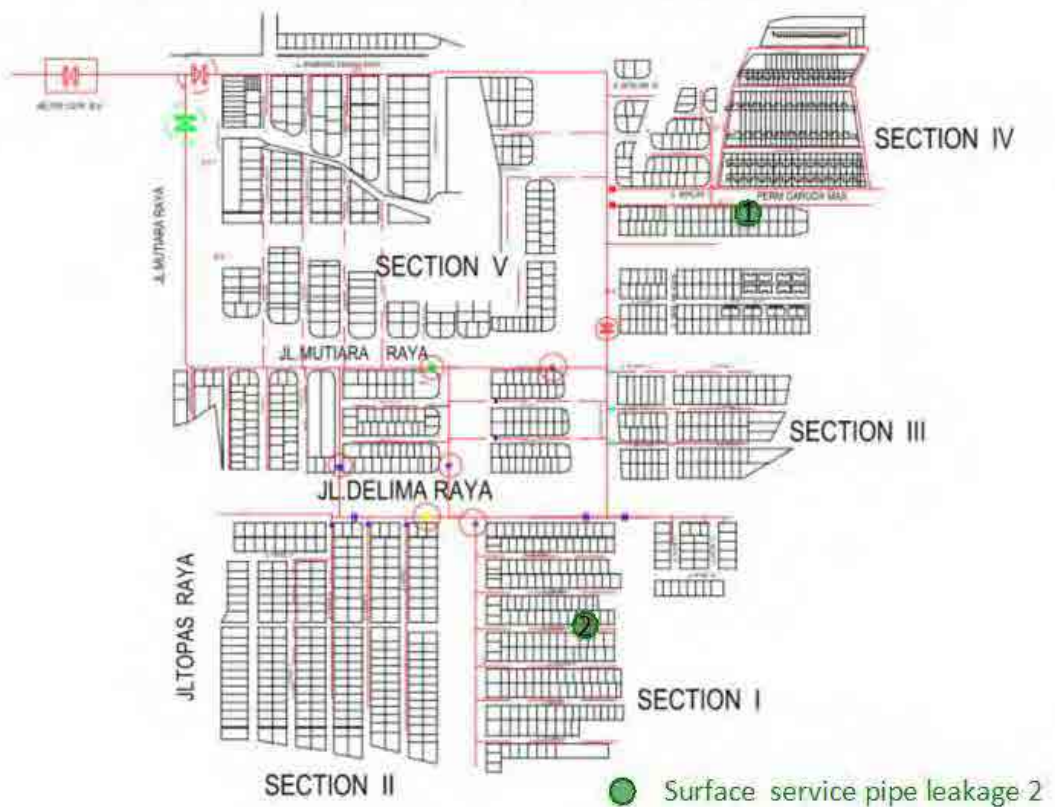


図 3-54 Deli Tua Bersaudara 地区 漏水調査及び漏水地点

表 3-66 Deli Tua 支所 Peruma BSD 地区 漏水量の計測

	漏水タイプ	漏水箇所	流出量 ℓ/分	流出量 m <sup>3</sup> /月
給水管	地上漏水	①	3	130
		②	3	130
合計			6	260

d. Belawan 支社 Bagan Deli 地区漏水調査実証結果(2015年2月10日、11日)

Belawan 支社 Bagan Deli 地区は、海に面している貧困層住宅地で治安が悪い地域である。地盤が低いので、時々海水が上昇し海水で満たされることが多く、地下水位も非常に高い。この地域では、Tirtanadi 水道管以外に、港湾局所有の水道管、オイル精製場 (PERTAMINA) 所有の水道管、各家庭の井戸からの給水管が埋設されている。他企業の水道管が埋設されている場合、他企業管と区別するためにも水道管の図面管理 (台帳) は重要であるが、現存する図面が不正確のため、Tirtanadi の水道管のみの漏水調査を実施することは困難であった。

今回の調査では調査区域が広いため、夜間業務としてステップテスト方式で漏水量が多いと推定される地域を選定し、その地域を重点的に調査した。ステップテストを行う前にセクションを区切るためのバルブの確認調査を行ったが、バルブの故障のため各エリアを区切ることができず、優先地域の選定も困難であった。そのため使用水量が少ない夜間の時間帯に AS610 を用いてエリア流入管に設置してある仕切弁を利用して径 φ150mm、延長 1600m の漏水調査を行った結果、漏水と疑わしいと思われるところを数箇所発見し、発見箇所について詳しい調査をするよう PDAM Tirtanadi 職員に依頼した。また、バルブ確認のための歩行調査の際、目視及び ST04 により地上漏水 2 ヶ所 (内 1 ヶ所はメーター不在)、地下配水管漏水 1 ヶ所を検出し、また二日目の調査では、AS610 と D305 を併用して調査し、1 ヶ所の配水管地下漏水を発見した。



図 3-55 Bagan Deli 地区

(左)配水管漏水箇所

(右) AS610 及び D305 設置



図 3-56 Bagan Deli 地区 夜間時調査 超音波流量計及び AS610 設置状況

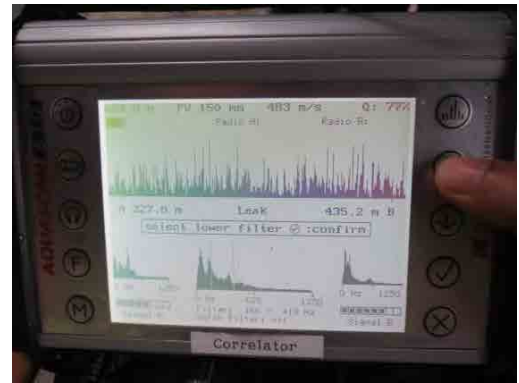


図 3-57 Bagan Deli 地区 夜間時調査 エリア流入管における AS610 漏水調査



図 3-58 Belawan 支所 Bagan Deli 地区 漏水調査及び漏水地点

表 3-67 Belawan 支所 Bagan Deli 地区 漏水調査及び漏水地点

	漏水タイプ	漏水箇所	流出量 ℓ/分	流出量 m <sup>3</sup> /月
管配水管	地下漏水	①	30	1,300
給水管	地下漏水	②	1	45
		③	1	45
	地上漏水	④	1	45
合計			33	1,435

e. Belawan 支社 Sicanang 地区漏水調査結果(2015年2月18日)

DMA エリアとしてはかなり広いエリアであるため、今後は、DMA 地区内を細分化する必要がある。浄水場からの流入と DMA エリア内の深井戸水を利用しているエリアであり、水圧は 0.25kgf/cm<sup>2</sup>と非常に低い。海に面しているエリアであるため時々海水が上昇し、地下水位も非常に高いエリアである。

AS610 はセンサーA とセンサーB との距離が 500m 前後以上離れている場合(ただし、受信可能距離は途中の障害物等に依存する)、アンテナをセンサーに取り付けることでより広範囲を調査することが可能である。漏水の疑いのある波形が検出された箇所を重点的に D305 及びポケットフォンを使用して漏水調査する手法が効果的であった。今回の調査では AS610 のセンサーにアンテナを接続して、口径 φ150mm、距離 663m の PVC 管を調査した結果、漏水音と疑わしい箇所を同時に数箇所検出した。そのうちの1ヶ所を確認したところ漏水を現認したが、降雨のためその他の箇所は支社担当に確認調査するよう依頼した。流入ポイント周辺の給水管と流入ポイントから 663m までの広域調査のみで、天候によりほとんどの DMA 区域で調査できなかった。



図 3-59 Sicanang 地区 AS610 設置



図 3-60 Sicanang 地区 水圧計設



図 3-61 Sicanang 地区 (左)AS610 設置 (中央)仕切弁 (右)地下漏水



## No.5 BELAWAN Sicanang

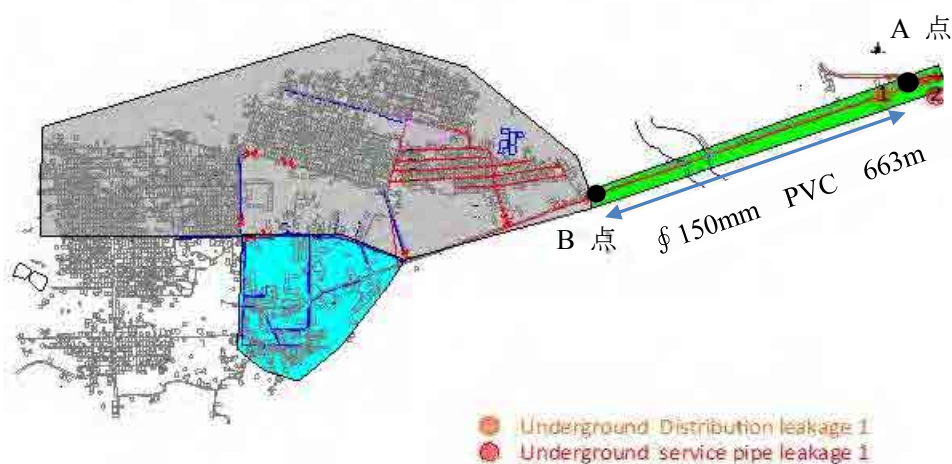


図 3-62 Belawan 支社 Sicanang 地区

表 3-68 Belawan 支所 Sicanang 地区 漏水量の計測

	漏水タイプ	漏水箇所	流出量 l/分	流出量 m <sup>3</sup> /月
管配水管	地下漏水	①	30	1,300
給水管	地下漏水	②	1	45
合計			31	1,345

### f. Labuhan 支所 Komp Minimalis 地区漏水調査結果(2015年2月9日)

この地区は川に面した静かな住宅街であり3つのセクションで構成されている。このためセクション I とセクション II に班を分けて漏水調査を実施した。セクション I の班は AS610 と D305 を使用し配水管を重点的に調査、セクション II は D305、小型音聴式漏水探索機 ST04、ポケットフォンを使用して配水管ならびに給水管を重点的に調査した。

#### 違法接続の調査

小型音聴式漏水探索機 ST04 を用いて各家庭の給水管を調査する際、メーター前のバルブを開閉することによる違法接続調査手法を検証した。メーター前のバルブを閉めた後 ST04 で管内水音を確認する。違法接続がない場合は水音は止まるが、違法接続がある場合は水音は継続する。この手法により違法接続を1ヶ所発見した。

#### D305

川に面していることもあり地下水位が非常に高い地域であるため、D305 の使用は限られたが、分岐箇所を確認するなど管路探索には効果的であった。

#### AS610+ハイドロフォン

配管距離 235m の広域調査、その後検出箇所をポケットフォン及び ST04 により音聴調査し、2ヶ所の地下配水管漏水を発見した。

また、小型音調式漏水探索機 ST04 とポケットフォンを用いて地上と地下給水管漏水をそれぞれ2ヶ所、計4ヶ所の漏水を発見した。午後から大雨となり調査は中

止としたため、残りの区域については引き続き PDAM Tirtanadi で調査実施することとした。



図 3-63 Komp Minimalis 地区  
小型音聴式漏水探索機 ST04



図 3-64 Komp Minimalis 地区  
検出された違法接続管

## No.6 LABUHAN Komp Minimalis



図 3-65 Labuhan 支社 Komp Minimalis 地区

表 3-69 Labuhan 支社 Komp Minimalis 地区の漏水量の計測

	漏水タイプ	漏水箇所	流出量 ℓ/分	流出量 m <sup>3</sup> /月
管配水管	地下漏水	①	30	1,300
		②	30	1,300
給水管	地下漏水	③	1	45
		④	1	45
	地上漏水	⑤	1	45
		⑥	1	45
合計			64	2,780

g. Tuasa 支社 Gaharu 通り漏水調査 (2015 年 2 月 24 日、25 日)

今回予定していた地域ではないが、下水工事の際破損した水道管からの漏水がマンホールに流入、応急措置として配管を経由して用水路へ流している現場の調査を依頼された。この地域は DMA 管理されていない地域である。D305、AS610、ステットホン及びポケットフォンにより探索した結果、小規模漏水を 3 ヶ所を検出修理、大規模漏水箇所 1 ヶ所のおおよその位置を特定した。予定外の作業であったため、掘削確認は調査団帰国後 PDAM により行われた。

h. トレーサーガスを使用した宅内漏水探索

第 4 次調査では、窒素 95%、水素 5% のトレーサーガスを使用した給水管の漏水箇所探索調査の検証をした。ガスの調達先及び内容は下記の通りである。

販売店	TRI GASES
	Jl. Karya Rakyat No.41 Medan 20117 Indonesia
調達ガス	N2:95% H2:5%の混合ガス 1 m <sup>3</sup> 2 本
費用	ガス代 2 m <sup>3</sup> 1,000,000Rp
	同上用貸しポンベ代 2 本 1,200,000Rp

PDAM Tirtanadi の水道水を多量に使用している個人宅を選定、本人了解の基、調査を実施。

個人宅で使用する水道の蛇口を全て閉め、水道メーターの確認作業を行ったところ、水道メーターが回転していたことから、漏水の可能性が確認された。配水管と水道メーター間の漏水を確認すべく、ST04 及びポケットフォンにて調査をしたが漏水は確認されなかった。そこでトレーサーガスを用いた漏水調査を実施することとした。

まず水道メーター部分に設置してある止水栓を全閉にして給水管の配管されている位置の確認を行った後、1 階に取り付けられている水道蛇口から給水管内にたまっている水を完全に抜き、ホースを使用して 1 階の蛇口からトレーサーガス（窒素 95%、水素 5% 混合）を注入した。配管内にガスが充満してくると開放していた（配管最上である）2 階の水道蛇口から残水が吐出しガスが噴出する。この現象を確認してからすべての蛇口

を閉め、バリオテック 460 による漏水確認調査を実施した。配管内に充填した水素ガスは比重が軽く漏水箇所から漏れ出するため、そのガスを検知することにより漏水箇所を特定することができる。調査の結果、1階トイレ、台所、2階トイレ、寝室のガス流入箇所それぞれの蛇口取付け部分からガスが漏れ出していることを確認した。

PDAM Tirtanadi 職員も実証を兼ねて調査を行ったところ、短時間の指導で簡単にガスの接続、水道管への注入、漏水箇所検出といった一連の手順を習得した。トレーサーガス式漏水探索は宅内漏水の検出に非常に適しているため、今後住民からの宅内漏水調査の依頼にも対応することができる。ただしガスの調達先は現在メダンには1社しかないため、ガス購入費を含めた調査費用を個人宅が負担できるか否かという点が今後の課題である。

またこの探索手法は、バルブなどによる配管の閉鎖領域を確保できること、大量のガスを調達するといった課題を克服することができれば、時間給水の地域や音聴も D305 も難しい調査環境下における漏水調査方法として給配水管への適用が多いに期待できるところである。

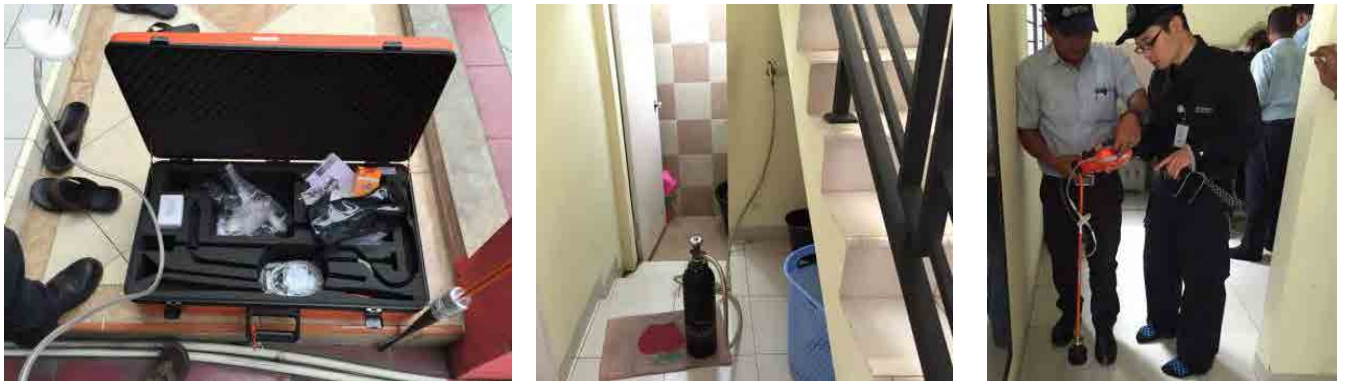


図 3-66 バリオテック 460 (左)機材一式 (中央)ガス管を蛇口に接続 (右)PDAM Tirtanadi 職員への指導



図 3-67 バリオテック 460 (左)漏水確認調査 (中央)検出数値 160 (右)台所にて検出



図 3-68 PDAM Tirtanadi 本局内モスクでのトレーサーガス式漏水調査  
(左)蛇口にガス管設置 (右)PDAM Tirtanadi 職員による漏水箇所確認

イ. 第4回漏水調査結果

6DMA 地区を対象に漏水調査を行った結果、配水管の地下漏水調査で5ヶ所、給水管の地下漏水調査で8ヶ所、地上漏水で5ヶ所、及びDMA 区域外配水管地下漏水1ヶ所、計19ヶ所発見し、修理を行った(表3-70参照)。今回検出された漏水箇所のうち修理済みの推定流出量合計は約34,000 m<sup>3</sup>/月であった。

今回は特に漏水調査の難しい地域での実証を試みたが、表3-71にある通り、漏水調査機器の調査手法を工夫することにより、PDAM Tirtanadiの無収水削減及び漏水調査に大きく貢献することができることが実証された。

表3-70 第4回漏水調査結果

	支社	DMA	NRW (%)	漏水検出数			備考
				給水管	地上	地下	
1	AMPLAS	Villa Permata	27%	給水管	地上	0	低水圧 低い高圧線 鉄線入り舗装
					地下	0	
				配水管	地上	0	
					地下	0	
2	SUNGGAL	Komp Wakiki	45%	給水管	地上	0	乾燥した地盤 低水圧
					地下	3	
				配水管	地上	0	
					地下	1	
3	DELI TUA	Perum. BSD	28%	給水管	地上	2	大きな地盤高低差
					地下	0	
				配水管	地上	0	
					地下	0	
4	BELAWAN	Bagan Deli	25%	給水管	地上	1	高い水位 民間・他局の水道管混在
					地下	2	
				配水管	地上	0	
					地下	1	
5	BELAWAN	Sicanang	28%	給水管	地上	0	高い水位 低水圧
					地下	1	
				配水管	地上	0	
					地下	1	
6	LABUHAN	Komp Minimalis	20.00%	給水管	地上	2	高い水位 違法接続調査
					地下	2	
				配水管	地上	0	
					地下	2	
合 計				給水管	地上	5	全 18ヶ所 (その他 DMA 外 1ヶ所)
					地下	8	
				配水管	地上	0	
					地下	5	

表 3-71 各調査状況に対する対応結果まとめ

	D305	AS610	ST04	PM	備考
高水位	×	○	○	○	D305：バルブの浸水状態では使用不可
低水位	△	○	○	○	D305：適切なアースで対応可能
超低水圧	○	△	△	△	AS610：ハイドロフォンの併用
商業地区	△	△	△	△	D305で配管分岐確認後 AS610にて再調査 音聴は夜間調査が望ましい
仕切弁少数 長距離調査	△	△	—	—	D305：2台使用 AS610：アンテナ利用、測定時間延長
電線近接	×	○	○	○	D305:鉄線など誘導の影響に弱い
違法接続	○	○	◎	◎	併用で高い効果

#### ウ. 最終報告会について

2月23日に、PDAM Tirtanadi において最終報告会が行われ、以下のとおり報告した。

1. PDAM Tirtanadi が維持管理する責任のある給水管の範囲の明確化。
2. 今回実証した漏水調査機器についての PDAM Tirtanadi 職員の評価及び問題解決策について報告。
3. 無収水削減対策の一環としてパイロット地区に選定された 25ヶ所の DMA 区域の漏水調査結果を報告。

地下漏水・地上漏水合わせて 117ヶ所の漏水を発見・修理したが、これら漏水の全体量は約 173,000 m<sup>3</sup>/月で、水道料金に換算すると毎月約 55,360 万円損失している計算となる。実証活動を通じた漏水調査により無収水率に関しても、42%前後から 25%へ約 17%の削減に貢献した。本事業は漏水調査機器の有効性に特化して実証を行ったため、依然として残る無収水に関しては違法接続や、メーター検針、メーター不感水量などの他の要因の可能性と各分析法について説明するとどまり（P103 参照）、それ以上の詳細な分析は行っていない。また、調査未実施の区域も残されているため、本事業で実践した漏水調査により更なる無収水削減に貢献することが期待される。

4. ライフサイクルコストの観点から、耐用年数の基準を 100 年として PVC 管及び HDPE 管、DIP 管の管材費及び維持管理費を含めたコストを計算し、更新時の配管材料選定について説明。
5. PDAM Tirtanadi による第 3 セクターの漏水調査実施機関設立の重要性について説明。局長も前向きに取り組むことを確認、PDAM Tirtanadi 管理区域内の漏水調査及び修理からスタートし、中期的には北スマトラ州内の水道事業体に対する漏水調査及び修理の実施、将来的にはインドネシア国水道協会と MOU を結び全国展開が出来るようにしていく事を目標とすることを確認。
6. 水道施設の維持管理については、維持管理計画、無収水削減計画、漏水調査計画書を作成のうえ計画的に実施していくことを確認。
7. 2035 年までの Master Plan の作成、職員育成も踏まえ研修施設の建設の可能性について検討する事を確認。

8. 人材育成について、PDAM Tirtanadi 独自にて管理職員・支所職員・特にミスの多い水道メータ検針員のための研修を実施する予定。

漏水再発防止のため、提携している修理業者の基礎知識／技能向上の必要性を強調し、技能研修を行うことも推奨した。

⑧その他・セミナー関係報告

第2回～第4回漏水調査で実施したセミナー等の内容については次のとおり。

表 3-72 セミナー等の内容とその成果

開催日時 相手先機関 テーマ	内容：本事業の報告・無収水削減対策について・漏水調査の必要性・水道施設の維持・漏水探索機の OJT 研修
2014 年 6 月 25 日 USAID iuwash 機関 無収水削減	セミナー目的：無収水削減対策手法と漏水調査方法・漏水調査機材を使用した OJT 研修を通して、漏水調査機器の促進 参加者：スマトラ州水道公社技術職員 16 名 成果・課題：各水道公社とも漏水調査機材やその技術、水道施設維持管理が不足している。OJT 研修や無収水削減の講習を通してその重要性を認識した結果、研修セミナーや漏水調査機材導入を強く要望するに至った。さらなる水平展開が課題である。 協力：PDAM Tirtanadi 漏水管理課長以下 4 名
2014 年 8 月 28 日 日本水道協会・インドネシア水道協会 Program Schedule for “PERPAMSI and JWWA Exchange Training Program 2014: Capacity Building on water Supply for Young Leaders”	セミナー目的：樹脂管に特化した漏水調査機器を学び PR することにより日本・インドネシア双方へ技術を周知し、水平展開につなげる 参加者：日本及びインドネシアの水道局若手技術者 成果・課題：今後漏水探索機導入を検討する。 セミナーの要望を受けた。 無収水削減の重要性、漏水調査の重要性を広く認識した。
2014 年 9 月 8 日 PDAM Tirtanadi Water Leakage Management with Goodman INC. JAPAN at 109 Anniversary of PDAM Tirtanadi North Sumatera Province	セミナー目的：樹脂管に特化した漏水調査検索機の実証結果の報告と無収水削減対策の重要性、漏水調査の重要性を発表し、今後の水平展開を計る 参加者：スマトラ島の水道事業体局長、インドネシア水道協会会長、北スマトラ州水道協会会長、PDAM Tirtanadi 局長及び幹部職員、日本大使館在メダン総領事、JICA インドネシア事務所、公共事業省専門家、合計 80 名が参加 成果・課題：Bin Jai 市水道公社及び北スマトラ水道協会会長からセミナー及び漏水調査実施依頼がなされた。 全体的に機材の展示、パンフレット、技術資料配布で漏水調査機材の知識が共有された。



<p>2014年9月15日 ビンジャイ市水道公社 漏水探索技術/無収水対策</p>	<p>セミナー目的：前述した9月8日のセミナーで招致を受けて実施した。 樹脂管に特化した漏水調査機器の実証結果の報告と無収水削減対策と漏水調査の重要性を説明し、漏水調査機器の導入を促す。</p> <p>参加者：ビンジャイ市水道事業体技術職員20名、局長、ビンジャイ市長及び副市長</p> <p>成果と課題：漏水探索と無収水削減の重要性が理解された。 漏水機材を保有していないため機材購入を検討中</p>
<p>2014年7月1日～4日 JICA 横浜 The 3<sup>rd</sup> Executive Forum for Enhancing Sustainability of Urban Water Service in Asian Region</p>	<p>セミナー目的：インドネシア国水道事業体が今後実施しなければならない、水道事業経営、無収水削減対策、水道施設の維持管理、水質管理等について習得し、事業に反映させる</p> <p>参加者：公共事業所部長、水道協会会長 PDAM Tirtanadi 局長、スラバヤ副局長、その他2名</p> <p>成果と課題：自国の問題を提起し解決の手段を見出すことができた。 今後どのようにサポートしていくかが課題</p>
<p>2015年2月24日 ジャカルタ市公共事業省 PERPAMSI-JWWA, PU-PERA Joint Seminar on LCC Reduction Challenges for PDAMs System Development in Indonesia</p>	<p>セミナー目的：生涯維持管理コスト削減の観点から見た水道局の運営について意見交換する</p> <p>参加者：各水道事業体38名、及び水道事業に関連する日系企業23名、JICA4名、JETRO1名、その他5名</p> <p>成果と課題：PVC管とHDP/DIP管φ75・100・150mmについて、新設工事費用及び維持管理費用の比較を行った。漏水調査機器を効果的に取り入れ無収水を抑制し、初期投資額は大きいが維持管理コストが低く耐用年数が高いHDPへ徐々に更新することが望ましい点を説明。無収水削減対策にPDAMがどの程度予算をつけるかが課題。 日系在インドネシア企業の参加者リストをもとにアプローチし、本事業後のインドネシア向け機材販売を念頭に足がかりをつけていく予定</p>
<p>2015年2月26日 バンドン市水道公社 漏水探索技術/無収水対策</p>	<p>セミナー目的：従来より所有の漏水探索機と今回の提案調査機器との違いを説明し、機材導入効果について理解を深め今後の購入につなげる。</p> <p>参加者：バンドン市水道公社幹部職員</p> <p>成果と課題：同市での提案製品の導入時期や取引方法については未定だが漏水調査機器の見積をバンドン市へ提出済。</p>

## (2) 事業目的の達成状況

### 第1次～第4次漏水調査結果と無収水率推移

#### ①無収水率の確認

国際水道協会では **Water balance** 表(表 3-73 参照)を使用して無収水削減率の計算を行っている。途上国では浄水場で生産した浄水量を 100%にして、一般市民が使用した水道量の料金を支払った金額の差を無収水とし計上し、その割合を無収水率という。

無収水量はそれぞれ次の方法で割り出される

1. 漏水量：使用料の極端に少ない夜間最小流量測定により計測された流量。
2. 違法接続水量：実際の水量の把握は困難なため漏水量と組み合わせる。DMA が完全に構築され全給水区域で夜間最小流量測定を通して基礎漏水量の算定が可能になれば、漏水量と組み合わせた違法水量から基礎漏水量を差し引くことにより算出できる。
3. メーター不感水量：設置水道メーターを各経年度、製造会社、地域ごとに各 5 個ずつ抽出し、試験室にてメーター器差の試験を行い、各メーター器差<sup>1</sup>を算出し水道メーター不感水量を算出する。
4. 水道区事業用水量：通常毎年計算している水量を使用する。
5. 料金支払い不可能水量：前年度の回収不可能金を使用し、水道収入に対する比率を計上する。

本事業の目的は PVC 管に特化した漏水調査機器の有効性の検証であったので、無収水率については漏水量に着目し、他の項目については今回分析調査を行っていない。

無収水の中でも漏水は日本国内でも全体の半分を占めていることから、水道事業者にとって一番大きな水量であるといえる。地上漏水・地下漏水を早期に発見して早期に修理することで無収水率を大幅に下げることが出来るので、漏水調査計画書を作成して2年から3年サイクルで水道施設の漏水調査を実施する必要がある。

しかしながら Belawan のように 1985 年に敷設した PVC 配管(寿命 20～25 年)がいまだに使用されているなど、既に更新時期を経過している地域もみられ、老朽管を永久的に使用していると漏水箇所を修理しても直ぐに次の継手の亀裂等から漏水が発生する危険があるので、老朽管更新計画も作成し計画的に更新していくことも重要である。

---

<sup>1</sup>メーター器差：試験流速を 30/60/120/800L/h、定格流量を 10L/20L/40L/100L として試験器から水を流し、定格流量と各水道メータのカウント数を比較し各々の流速における計測誤差（器差）を算出する。

表 3-73 IWA (International Water Association) Water balance

Own Sources	System Input Volume	Water Export	Authorized Consumption	Billed Authorized Consumption	Revenue Water	Billed water Export
		Supplied Water		Unbilled Authorized Consumption	Non Revenue Water	Billed Metered Consumption
Water Losses	Apparent Losses (commercial Losses)		Unbilled Metered Consumption			
	Real Losses			Unbilled Un-metered Consumption		
Unauthorized Consumption						
Water Imported				Customer Metering Inaccuracies		
				Leakage on Mains		
				Leakage and Overflows at Storages		
				Leakage on Service Connections up to point of Customer Metering		

ア. 第 1 回漏水調査の検証

表 3-74 第 1 回漏水調査地域の漏水量と無収水率削減幅

BRANCH OFFICE	給水戸数	漏水検出ヶ所	漏水量合計 ℓ/分	漏水量 m <sup>3</sup> /月	調査前無収水量 m <sup>3</sup> /月	漏水 量割 合	調査前 無収水 率 1 月	調査後無 収水率 12 月	無収水 率削減 幅
Amplas Comp Riviera	449	2	67.8	2,930	4,963	59%	33.05%	16.96%	16.09%
Medan Denai Komp Menten g	630	13	44.4	1,929	7,177	27%	32.81%	24.26%	8.55%
Sunggal Comp Graha Sunggal	265	0	0	0	1,830	0%	31.20%	(26.21%)	-
Delitua Comp Putri Deli	261	2	12.4	533	2,037	26%	28.89%	22.83%	6.06%
Medan Kota Comp Malibu	500	2	97.2	4,200	12,066	35%	34.62%	25.95%	8.67%

表 3-74 は第 1 回漏水調査時 2014 年 1 月のデータと調査後の 2014 年 12 月の無収水率データを比較したものである。検出した漏水箇所の漏水量の割合に応じるように無収水率が削減されていることがわかる。

この中で突出しているのが Amplas/Comp Riviera 地区の大きな漏水箇所検出(2ヶ所で毎分 80ℓ)で、5 年前からステップテストにより漏水があることが指摘されながら、PDAM Tirtanadi が従来より保有しているフジテコム社製 LSP-1.5 音聴棒及びアナログ式漏水探知機 HG-10A、イギリスパーマー社製相關式漏水探索機(図 3-69 参照)では位置を特定できず放置されていた漏水であ



図 3-69 パーマー社製相關式漏水探索機

った。

MedanDenai/Comp Menteng 地区についてはステップテストの結果 (3.7ℓ/秒=222ℓ/分) の約 8 割を解決している。一方 Delitua/Comp Putri Deli ではステップテスト結果 (2.8ℓ/秒=168ℓ/分) からすると検出量が 20ℓ/分とまだ漏水箇所が残されている可能性がある。Medan Kota/Comp Malibu についても全体の無収水量からすると、今後もさらなる調査が必要と思われる。なお、Sunggal/Comp Graba Sunggal 地区については漏水ヶ所が見つからなかったにもかかわらず無収水率が約半分になっている。これは水道メーター交換等他の要因が考えられるため、調査が必要である。

#### イ. 第 2 回漏水調査の検証

表 3-75 第 2 回漏水調査地域の漏水量と無収水率削減幅

BRANCH OFFICE	給水戸数	漏水検出ヶ所	漏水量合計 ℓ/分	漏水量 m <sup>3</sup> /月	調査前無収水量 m <sup>3</sup> /月	漏水量割合	調査前無収水率 5 月	調査後無収水率 12 月	無収水率削減幅
Cemara Cemara Hijau(2004)	1002	1	200	8,780	12,919	68%	34.47%	32.09%	2.38%
Cemara Cemara Asri(2004)	3460	6	653.7	28,240	54,565	52%	36.76%	20.48%	16.28%
Diski Padang Hijau(2004)	385	2	80.5	3,476	4,356	80%	38.86%	14.22%	24.64%
Padang Bulan Bukit Johor Mas(2007)	255	9	15	670	1,981	33%	23.39%	17.76%	5.63%
Tuasan Komplek Vetpur(1994)	309	1	10	440	2,355	19%	23.54%	19.21%	4.33%
Diski Bumi Asri	842	1	100	4,390	9,658	45%	32.88%	16.71%	16.17%
Medan Labuhan Kpum	700	12	45	1,975	5,895	34%	33.08%	22.36%	10.72%
Belawan Kampung Nelayan	1077	18	32	1,425	12,066	12%	34.62%	18.57%	16.05%
Medan Kota Caban Disk	不明	6	133	5,850	不明	-	不明	不明	-

表 3-75 は第 2 回漏水調査前 2014 年 5 月のデータと調査後の 2014 年 12 月の無収水率データを比較したものである。この結果で顕著なのは Diski/Padang Hijau の無収水率が 38.86%から 14.22%へ約 24.64%削減したことである。配水管の地下漏水 2 ヶ所と検出数は少ないものの流出量の多い漏水で、このような漏水は特に配管に音が伝わりにくく検出が難しい。AS610 の水相関と D305 のコンビネーションによりの確に検出できた。

また、水位が高く調査環境が悪い Medan Labuhan/Kpum 及び Belawan/Kampung Nelayan につ

いては検出合計 30 ヶ所中 19 ヶ所が地下漏水であった。AS610 を小間隔で使用しながら小型音聴式漏水探索機及び小型軽量漏水探索で音聴確認するという方式で確実に結果を出すことができた。一方、無収水率が高いにもかかわらず漏水箇所が検出されなかった Cemara Hijau 地区に関しては、違法接続の可能性も考えられるため、ステップテストを行ったうえで再度調査することが望ましい。

ウ. 第 3 回漏水調査の検証

表 3-76 第 3 回漏水調査地域の漏水量と無収水率削減幅

BRANCH OFFICE	給水戸数	漏水検出ヶ所	漏水量合計 ℓ/分	漏水量 m <sup>3</sup> /月	調査前無収水量 m <sup>3</sup> /月	漏水量割合	調査前無収水率 8 月	調査後無収水率 12 月	無収水率削減幅
HM Yamin Pukat(2008)	150	4	39	1680	3,279	51%	49.69%	32.79%	16.9%
Medan Kota DMA Bogor(不明)	320	1	84.4	3645	10,608	62%	66.28%	41.22%	25.06%
Padang Bulan Citra Garden(2004)	440	4	49	2120	6,587	32%	41.75%	28.53%	13.22%
Deli Tua Tani Bersaudara(2008)	523	4	775.5	33500	45,099	74%	81.83%	38.04%	43.79%
Sunggal Tasbi I(2004)	2287	9	750.1	32405	57,327	57%	45.57%	25.97%	19.6%
Sei Agul Amir Hamzah(1992)	700	2	19.4	835	8,298	3%	30.15%	27.36%	2.79%

HM Yamin 支所 Pukat・Medan Kota 支所 Bogor・Deli Tua 支所 Tani Bersaudara とともに、発見された漏水箇所は 1~3 ヶ所と多くはないが、それぞれ漏水量が大きい地下漏水であったため、調査後の無収水率に大きく差が出た。いかに地下漏水検出の技術が重要であるか物語る結果である。

エ. 漏水調査全体の検証

1回～第4回までの漏水調査での漏水発見箇所と漏水量は次の通りである。

表 3-77 全調査地域の漏水検出数及び検出漏水量

調査結果 漏水検出数						
		1st	2nd	3rd	4th	Total
配水管		6	17	10	5	38
	地上漏水	1	0	3	0	4
	地下漏水	5	17	7	5	34
給水管		13	39	14	13	79
	地上漏水	7	22	8	5	42
	地下漏水	6	17	6	8	37
合計		19	56	24	18	<b>117</b>

表 3-78 全調査地域の検出漏水量

調査結果 検出漏水量						
		1st	2nd	3rd	4th	Total
配水管		8,333	49,179	70,121	32,400	160,033
	地上漏水	700	0	12,000	0	12,700
	地下漏水	7,633	49,179	58,121	32,400	147,334
給水管		1,248	6,847	4,069	734	12,899
	地上漏水	285	4,778	1,503	389	6,955
	地下漏水	963	2,069	2,566	346	5,944
合計		9,582	56,026	74,190	33,134	<b>172,932</b>

表 3-77にある通り、4回にわたる調査で検出した配水管漏水箇所は地上4ヶ所・地下34ヶ所の計38ヶ所、給水管漏水箇所は地上42ヶ所・地下37ヶ所の計79ヶ所、合計全117ヶ所の漏水箇所を検出した。また、検出箇所からの漏水量を月単位で換算すると配水管では約160,000 m<sup>3</sup>、給水管では約12,900 m<sup>3</sup>、合計約173,000 m<sup>3</sup>/月に及んだ。この結果からもわかるとおり、

従来の漏水探索機では検出できなかった地下漏水の比重が地上漏水に比べて 10 倍と非常に大きい。地上漏水は目視で確認できる場合もあり比較的簡単に見つけることができるが、配水管漏水は PVC 管のソケット抜けで音が伝わりにくい漏水が多いため従来の調査機器による調査では発見できないまま放置されていた箇所もあった。今回提案の漏水調査機器を導入することにより、漏水損失を飛躍的に削減することが可能であることが実証された。

PDAM Tirtanadi では、1 m<sup>3</sup>あたりの水道料金を約 32 円と設定している。この料金設定をベースに上記漏水検出量 (173,000 m<sup>3</sup>/月) を料金換算すると 5,536,000 円/月に相当する。今回漏水調査の作業日数は 42 日間で、毎月約 5,536,000 円相当の無収水防止に貢献したこととなる。

今回の漏水調査結果をふまえ、5,536,000 円/月相当の無収水削減に必要な漏水調査のコストについて、以下のとおり分析した。

まず、今回導入した漏水調査機器については合計で 13,520,000 円であり漏水調査を実施した作業員の人件費については、PDAM Tirtanadi へのヒアリングから、単価を約 5 万円/月 (インドネシアの平均月収は 24,400 円) とし、管理費及び諸経費を概算で人件費の 20% と設定。その他、修理部材はタイヤチューブを利用しておりほとんど経費としてはかからないのでここでの計上は不要であるため、これら条件設定から今回の漏水調査にかかった機材費及び費用を概算で算出した場合、以下ボックスのとおりである。

①漏水調査必要経費(漏水調査作業日数：42 日間、作業員数：25 名)	
機材投入額	13,520,000 円
人件費 25 名(修理作業員含む) 25 名 × @50,000 円/20 × 42 日	2,625,000 円
管理費及び諸経費概算 @2,625,000 円 × 20%	525,000 円
<u>漏水調査費用及び機材費合計</u>	<u>16,670,000 円</u>
②173,000 m <sup>3</sup> /月が生み出す収益	
(水道利用料金) 5,536,000 円 - (浄水コスト @9.82 円/m <sup>3</sup> ) 1,698,860 円	= 3,837,140 円
③費用対効果 (① ÷ ②)	
16,670,000 円 ÷ 3,837,140 円	= 4.3 ヶ月

つまり、漏水調査機器の新規購入費用及び 42 日間の漏水調査にかかる人件費等も含めて 16,670,000 円に費用が必要となるが、上記のとおり、単純に計算すると約 5 ヶ月間で回収が可能といえる。他方で、必要経費の算出内容からもわかるとおり、機材購入費が大部分を占めるため、漏水調査を継続して実施し漏水量を削減していくことで、かかる費用も相対的に低減していくと考えられるが、より精緻な分析にはより長期かつ広範囲な調査等が必要となるので、本事業では参考までに上記の概算額をベースとして考えることとする。

一方で、漏水問題が徐々に改善され水圧が現在より上昇した場合、修理方法や配管敷設が正しく施工されないままであると、不完全に施工された弱い箇所でも漏水が再発する恐れがある。従って、漏水を検出するだけでなく、正しい修理・施工方法を徹底することも重要である。

## ②機材の検証

### ア. 樹脂管用漏水探知機 [D305]

- 操作が簡単、音とメーターの強弱で反応を判断するため経験の浅い職員でも使いこなすことができる。
- 配管ルートの確認に有効である。
- 設置箇所から約 5m 以上離れた所に良好のアースを取ることが重要である。土壤が乾いている場合は音聴棒をアース棒として使用し深いアースをとる、さらに乾燥している場合はアース廻りに差し水をするとうい。
- 配管分岐箇所がある場合漏水箇所と同じように減衰するため区別が難しい。今後図面の整備が必要である。
- 雨天時・地下水位が高い・バルブが浸水している状況では送信機設置箇所から電磁波が周囲に拡散してしまい探索が阻害される。
- 電話・電気の配線が地上より約 3m 程度と低く配線されている地域、金網入りブロック舗装、鉄柵が近くにある場合、電磁波は水より金属に流れやすいためこのような設備に誘導電流が流れ、探索が阻害される。
- 水位の低い乾燥地の場合は金属製音聴棒を深く打ち込み深いアースをとると反応がよくなる。
- AS610 及びスマートフォンと併用することにより、探索結果を複合的に把握できるため漏水箇所の特精度があがる。

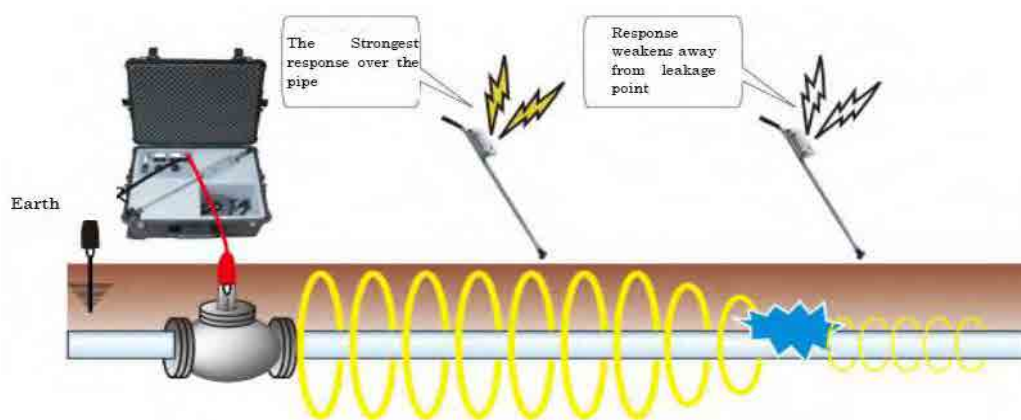


図 3-70 D305 の探索原理

### イ. 相関式漏水探知機 [AQUASCAN 610]及びハイドロフォン

- 配水管の漏水調査に非常に効果的である。
- 水圧の低い DMA では、メーターもしくは最寄りの水道蛇口部分に水中相関であるハイドロフォンを接続して併用することにより、精度の高い漏水検出が行える他、違法接続箇所の特精度も可能である。
- AS 610 の 2 点間の距離計測、センサー設置、解析機へのデータ入力には約 5 分から 10 分かかる。仕切弁の間隔が 1km に及ぶ場合、解析機へのデータ入力等に時間がかかるが、センサーアンテナを延長することにより状況は改善する。



- 現在は仕切弁間隔が 500m以上、1km 以内に 1ヶ所設置されている状況である。維持管理を考慮した仕切弁設置が今後の課題として必要である。

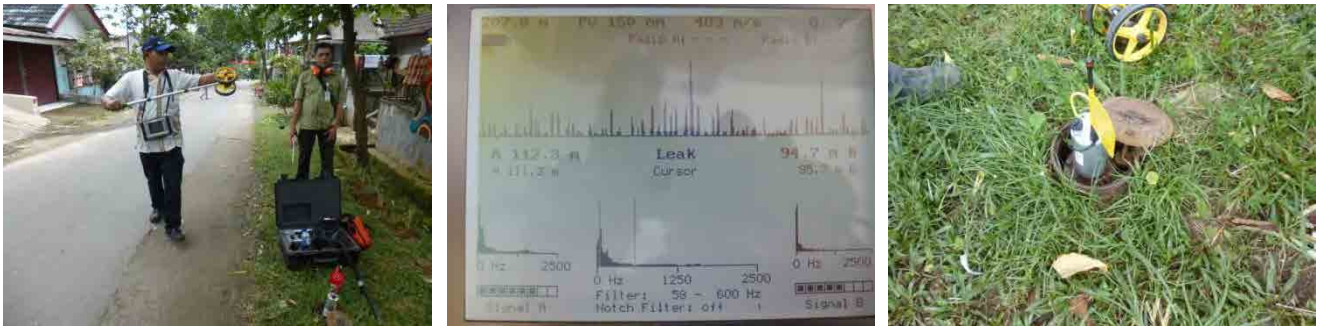


図 3-71 AS610+D305+スマートフォンを併用した漏水調査

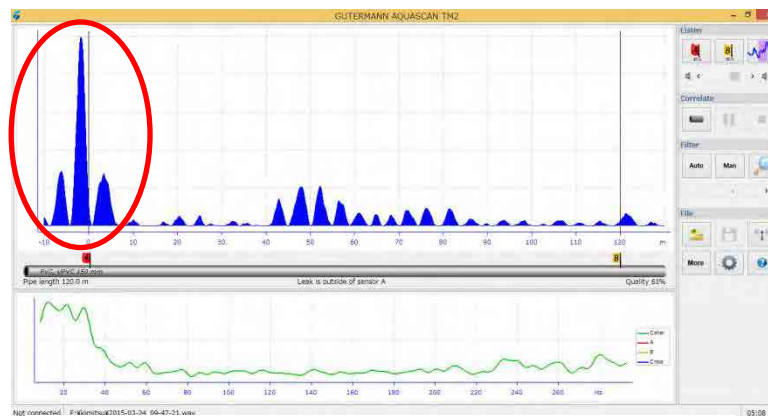


図 3-72 AS610 バルブ渦流の波形

※センサーを設置しているバルブの直上で出ている山の字の形は、典型的なバルブ半開き状態によっておこる渦流の波形である。バルブ渦流が非常に大きなノイズを発するため本来の漏水地点の波形が消滅することがある。この場合はバルブを全開にするなどして渦流の発生を止めてから相関調査をする必要がある。なお、ソケット抜けによる漏水も同じ形の波形である。

#### ウ. D305・AS610・ST04 による住宅地漏水調査例

図 3-74 は代表的な住宅地の漏水調査のイメージ図である。機材をチームワークで複合的に活用することにより、効率の良い調査を行うことができた。水道水の圧が低いため、民家には上階へ水を送水するためのポンプを自前で設置している場合が少なくない。

- D305 及び AS610 センサー (+ハイドロフォン) はメーター・水栓(民家借用)・露出配管(金属管)に設置する。
- AS610 にて相関調査、同時に D305 により管路調査を行う。AS610 波形反応箇所を重点的に管路上の調査する。
- 小型音聴式漏水探索器 ST04 にて家の引込み・メーター付近の音聴調査(使用水の有無・違法接続の有無確認)
- ST04 及び小型軽量漏水探索機により路上を音聴調査(漏水の有無確認)

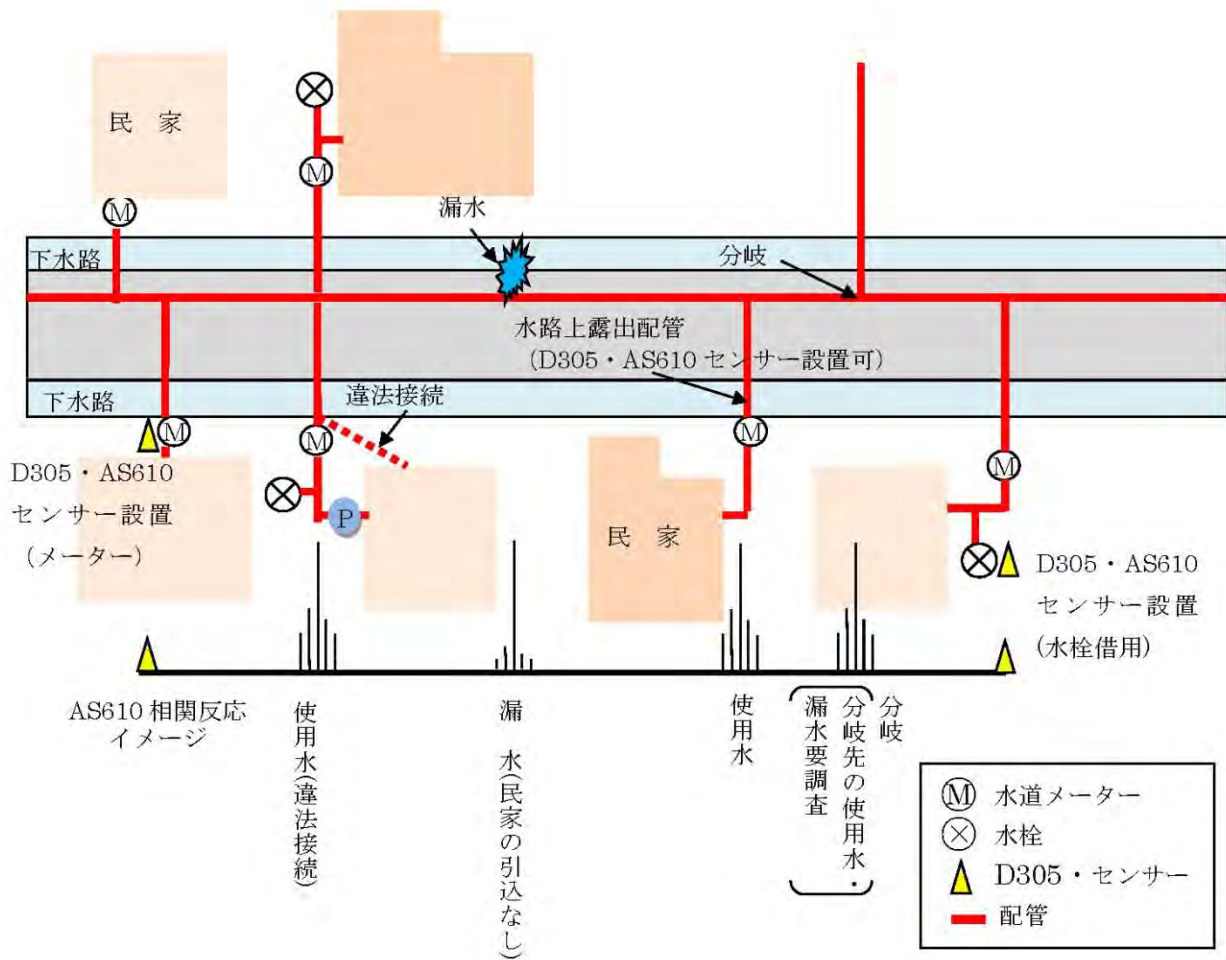


図 3-73 D305・AS610・音聴式漏水探索器を併用した漏水調査イメージ  
波形がピークを示した地点をステットホン・ポケットフォンで音聴調査

### ③使用機器の有効性の検証

今回、民間提案型普及・実証事業で実証した漏水調査機器類について、PDAM Tirtanadi 漏水管理課職員と各支部の漏水調査職員が約 1 年に渡り、使用した感想、当地での使用における機器本体、ならびに、その解析システムに関する改善や要望について、聞き取り調査を行った。また、別途漏水調査機器を購入する場合の機器構成を検討した。

#### PDAM Tirtanadi による漏水調査機材の評価

実証事業チームが持ち込んだ漏水調査機器及び超音波流量計、更には実証事業チーム及び PDAM Tirtanadi が自主製作した音聴棒について、PDAM Tirtanadi は次のように評価した。

表 3-79 漏水調査機材の評価(高い 5～低い 1)

Evaluations of leakage survey equipment and materials  
(High 5 to Low 1)

Name of the equipment	Accuracy	Performance
Leak detector for resin (PVC) pipe D305 locator	5 4 3 2 1	5 4 3 2 1
Correlative leak detector [AQUASCAN 610] + Hydrophone	5 4 3 2 1	5 4 3 2 1
Pocket Microphone General type acoustic leak detector	5 4 3 2 1	5 4 3 2 1
Variotec460 Tracer gas	5 4 3 2 1	5 4 3 2 1
Stethophon04 Compact listening device	5 4 3 2 1	5 4 3 2 1
Portable ultrasonic flow meter [ULTRA FLUX] F601	5 4 3 2 1	5 4 3 2 1
KDM-30 Digital water Pressure meter (Acoustic Rod)	5 4 3 2 1	5 4 3 2 1

Remark: Accuracy means that if there is a small difference between the leaking location specified by the leak inspection and an actual leak location, it is highly accurate.  
Performance means its operability is high if the materials are easy to operate and can be operated sinfully.

Customer Satisfaction / Capacity Building / Public Relation ship

注 1：正確性は漏水調査で特定した漏水場所と実際の漏水場所の差が小さければ正確性が高い

注 2：操作性は機材の操作感や使い勝手が良ければ操作性が高い

ア. 樹脂管用漏水探知機 [D305]

D305 に対する PDAM Tirtanadi のユーザーレビューは以下のとおりである。

- ・配水本管の仕切弁に送信機を設置して、地盤の地下水位が低い場合、音調棒を深く打ち込みアースを取って漏水調査を実施した。給水管の分岐箇所で送信機からの信号が減衰するため漏水箇所の検出にはあまり使えなかった
- ・調査対象の配水本管の位置をうまく特定できないことがあった。
- ・送信機の距離を短くして、2 台の送信機をそれぞれ探索範囲の仕切弁もしくは給水管の水道メータの両端に設置して、両側から漏水調査を実施した結果、給水管の位置、漏水箇所が確実に検出することができた。
- ・パイプ・ロケータとしては有効に活用できる。
- ・水圧の低い DMA 地区では、水道メータ以降にポンプを設置して急速に水道水を高層部に圧送している家庭があり、送信機の電磁場が阻害される場合があった。
- ・AQUASCAN610・D305・ポケットフォンを併用して漏水調査を行った場合、漏水箇所の特定、違法接続管の発見に充分活用できることを理解した。

PDAM Tirtanadi では PVC 管が多く使用されており、水圧も非常に低いため、D305 が有効に機能することを期待した。当初は片面に送信機を設置して漏水調査を実施した時には、高い評価は得られなかったが、探索範囲の両端に送信機を設置して両方向から漏水調査を実施

した場合、確実に調査ができるようになり評価が高くなった。今後は、維持管理を考慮した仕切弁の設置を確実に実施することにより樹脂管用漏水探知機は将来的にはD305を有効に活用できると考えている。特に樹脂管を使用している途上国では大きく貢献することが期待できる。D305は特にパイプ・ロケータとして非常に有効に活用できる。

本事業を通じ6台導入しており、現数で今後有効活用できると評価した。

#### イ. 相関式漏水探知機 [アクアスキャン(AS) 610](ハイドロフォン含む)

AS610に対するPDAM Tirtanadiのユーザーレビューは以下のとおりである。

- ・分析結果がすぐに画面に表示されるため、効率よく漏水調査ができる機材である。
- ・漏水の有無が分からない路線において、漏水がないことも画面で確認できるため、業務上他の職員に説明がしやすい。
- ・漏水量が少ない場合には、相関機の分析結果を解釈することが難しい場合がある。
- ・特に夜間漏水調査を行う場合非常に良い。
- ・漏水調査結果を保存できるため、データの共有・報告書作成、各支部へデータを送信して情報を共有することにより、状況の説明が明確になった。
- ・現在、1セットしかないので日常のメンテナンス方法や長期に使用するための維持管理方法を技術移転していただきたい。

評価表によるとAS610のPDAM Tirtanadiの評価は高かった。PDAM Tirtanadiでは、従来漏水調査というと地上漏水を主体としていた。今回、地下漏水調査でも口径・管の延長、管種を入力して早急に解析が出来ることが高い評価に結びついたと思われる。

本漏水調査機器を導入することにより1回の漏水調査範囲が飛躍的に広がったことは、本器導入によるところが大きく、効率的な漏水調査という観点では大きな成果に繋がった。

また、今回の実証事業では、漏水解析に時間をかけて効率的な漏水調査の検討・実践を試みたこと、OJT方式による機器の使用方法についての技術移転も同時に実施したことから、通常の調査業務に比べると時間がかかった。

AS610の維持管理方法については、25日午後から26日午前中に漏水管理課職員に対して詳細にわたり説明を行った。

今後も継続的に効率的な漏水調査を実施するためには、本漏水調査機器は漏水管理課及び漏水管理課職員によるデモンストレーションのための持ち出しがあるため、各支部で使用できるよう、合計3台必要であると評価する。

#### ウ. 音聴式漏水探知機 [ポケットフォン]

ポケットフォンに対する PDAM Tirtanadi のユーザーレビューは以下のとおりである。

- ・ピンポイントで漏水を発見する上では、非常に精度が高く、信頼できる機材である。
- ・正確な漏水位置を特定できるとともに、様々な管種、様々な漏水音に対応できるため、漏水調査において有効利用できる機材である。
- ・特に D305 及び相関式漏水探知機 AS 610 と組み合わせることで、非常に効率の良い確実な漏水調査が実現できる。(AS 610 の周波数《PVC 管：300Hz～500Hz》に合わせてポケットフォンを 400Hz に設定して同時に調査することにより、漏水ヶ所を特定する際のトリプルチェックが可能)
- ・管内水圧が低く漏水音が小さい場合は、ピンポイントで特定することは難しい。
- ・漏水調査を行った後、調査個所の測定データを 8 個まで保存できるため、漏水ヶ所の再確認に非常に便利である。

PDAM Tirtanadi では、樹脂管を多く使用しているので、この機器の使用頻度は高かった。ポケットフォンは従来型の音聴式漏水調査機材を改良してノイズカット方式、周波数の変更可能、軽量型でセンサー感度を良くした音聴式漏水探知機であり、AS610・D305 を用いて面的・線的に漏水位置を特定した後、最終的な漏水箇所特定のために本機を使用した。ポケットフォン本来の使用方法に合致している上、高い精度が得られているため高評価であった。

本機は最終的な漏水位置を特定する上で非常に有効であり、各自持ち歩き使用するため、今回の導入は 2 台であったが、漏水調査範囲を拡大するためには合計 4 台は必要である。

#### エ. 小型音聴式漏水探索器 ST04 (ステットフォン)

小型音聴式漏水探索器 ST04 (ステットフォン) に対する PDAM Tirtanadi のユーザーレビューは以下のとおりである。

- ・給水管部の漏水調査において、給水管の金属部分に当てて漏水音の確認調査を行うが、操作が簡単で我々でも簡単に調査が出来た。
- ・操作時にヘッドフォンの差し込み位置の確認をしなくて使ったこともある。今後は再確認しながら使用していく。調査精度は高い。
- ・交通量の多い地区では、漏水音のデータを保存して再確認することができ有効である。
- ・漏水調査を初めて経験する職員でも簡単に調査が出来るので、モチベーションの向上にも大いに活用できる。

小型音聴式漏水探索器 ST04 (ステットフォン) は、PDAM Tirtanadi 職員の研修でも使用できるので、職員間での使用頻度も高くなることが予想される。漏水管理課で維持管理についての丁寧な説明を行えば、長期間使用できる。

10 セット導入されているので、追加導入の要望はなかった。

#### オ. 水素式高性能漏水探索器バリオテック 460

水素式高性能漏水探索器バリオテック 460 に対する PDAM Tirtanadi のユーザーレビューは以下のとおりである。

- 水道メータ以降の給水管は、各お客様が管理する家の中のため漏水は見つけることが出来なかった、窒素 95%水素 5%の混合ガスを給水管内部に注入することにより簡単に漏水箇所を特定することができたので、今後お客様からの要望に応じることが可能である。PDAM Tirtanadi として有効利用できる。
- 操作は、簡単であるが、メダン市内でガスを購入できる会社が少ないので使用頻度が少なくなる。
- ガスを購入する場合、高価であるので一般の家庭宅から調査費用を徴収できるか心配である。

今回 2 m<sup>3</sup>で 2 軒調査を行ったが、技術移転しながらであったためガスは通常より多めに使用した。国内の実績では 2 m<sup>3</sup>であれば 4 軒調査ができる。今回 2 m<sup>3</sup>で 1,000,000Rp(約 10,000 円)かかっている(ボンベ賃貸料は含まず)ので、1 軒あたり 2,500 円のガス代が必要である。

水道料金は 3,200Rp(約 32 円)/m<sup>3</sup>なので、水道水量に換算すると約 80 m<sup>3</sup>に値する。

漏水箇所検出の確率が高く効果がある反面、混合ガスについて入手先や費用といったガスの供給について課題が残る。どんな地域でも有効に活用できるような機材開発を検討したい。

またこの探索手法は、大量のガスの調達及び仕切弁整備により配管の閉鎖領域を確保するという課題を克服できれば、時間給水の地域や音聴も D305 も難しい調査環境下における漏水調査方法として給配水管への適用が多いに期待できるところである。

#### カ. ポータブル超音波流量計 [Flexim F601]

Flexim F601 に対する PDAM Tirtanadi のユーザーレビューは以下のとおりである。

- 管路に関する情報が正確であれば、非常に正確な流量を取得できる。
- 流量計や親メータの精度や能力を確認できる良い機材である。
- 正しく設置すれば、他の流量計と同等のデータを取得できるが、現場によっては本流量計を正しく設置するのは非常に難しい。
- DMA 区域を作成する中では、DMA 区域内の流量を確実に把握できるので有効利用できる。
- この超音波流量計は、10 万個のデータを保存することが可能なため、24 時間のデータを取得し解析結果を有効利用することができる。

Flexim F601 は純粋な漏水調査機器ではないが、無収水削減を進める上で、正確な水量を把握するために必要なものである。測定値の精度については高い評価を得ているが、本機を正しく設置することは容易ではない。当初は設置までに時間を要し、うまくデータを取得できなかったが、その後何回も流量測定を重ねる中で熟知し、短時間で機材を設置してデータを取得できるようになった。

今後、多数の DMA 区域を構築する中で、親メーターの精度確認や、親メーターの設置が困難な場所での流量測定など、有効に活用できるものと考えられる。本機は現在 1 台導入されているが、DMA 区域形成時の流入量測定で必要不可欠な機器であるので合計 2 台は必要である。

#### キ. 高精度デジタル圧力計（日本製）KDM30

高精度デジタル圧力計 KDM30 に対する PDAM Tirtanadi のユーザーレビューは以下のとおりである。

- ・DMA 区域内の漏水調査を実施する前に、水圧が確認できるので有効利用できる。
- ・今後、夏場の水道使用量の多い時期における水圧調査に活用できる。プロジェクトチームから要請にあった水圧分布図面作成でも有効利用できる。

高精度デジタル圧力計は、重要なブロック化された区域、DMA 化された地域内での水圧調査に活用した。この圧力計で計測した結果に基づき漏水調査機器や手法を選定する場合にも有効である。横浜市水道局では、夏季水圧調査を実施して水圧分布図面を作成して配水管網形成時の管網計算、漏水調査計画書作成時にも有効利用されている。今後 PDAM Tirtanadi でも管網計算時や漏水調査計画書作成時の水圧測定が重要になるので、今後も引き続き有効利用されるものである。

#### ク. 音聴棒

音聴棒は、横浜市水道局で使用した経験があり、はじめに現地で 2 本製作し、利用方法について説明の上調査機器とあわせて活用した。その後、この音聴棒の利用価値が評価されて、PDAM Tirtanadi が 10 本の音聴棒を自主製作したものである。PDAM Tirtanadi のユーザーレビューは以下のとおりである。

- ・漏水の発見と漏水位置の確認をする上で、最良の道具である。
- ・特に水道メーター露出部などに充て、大まかな漏水個所の発見に有効である。
- ・配水管の位置確認にも有効利用できる。
- ・D305 のアース棒として有効利用できる。
- ・弁室内に土砂が入っている場合、土砂を取り除くのに有効活用できる。

横浜市水道局では漏水調査を実施する場合、職員が一人 1 本持って給水管からの漏水音の確認、仕切弁・消火栓等の金属部分に音聴棒を当てて、漏水の有無、最終的な漏水位置の特定の際に用いている。音の聞き分けには熟練を必要とするが、非常に簡易に製作でき、原理的にベーシックな道具であるため、今後、PDAM Tirtanadi で活用されることを期待している。

#### ④配水管維持管理に関する技術移転

現在 PDAM Tirtanadi が維持管理しているメダン市内では 64 ヶ所の DMA 区域に加え、未整備の区域がある。未整備区域については、配水管網整備を行いながら DMA 構築していく計画を持っている。漏水調査計画については、DMA 区域、未整備区域合わせて約 100 の DMA 構築を計画している。

今回の実証事業では、DMA 区域 21 ヶ所の漏水調査を通して漏水調査機器のノウハウを技術移転することができた。今後の漏水調査計画書作成では、PDAM Tirtanadi が管理している地域を 3 年間で一巡することについて漏水管理課長と協議し承認を得た。

3年間の漏水調査計画書を作成するにあたり、次の事項を順守するよう指導した。

- ・ 配水管・給水管を管理している支社から漏水調査実施の優先順位付けするための基礎資料を取得すること。
- ・ 基礎資料には、流入点、流入量、仕切弁数、配水管口径、管種、延長、水道メーター個数、建設年度、過去の漏水発生箇所数、漏水量（概算水量でも可）を図面に記載する。
- ・ 漏水管理課は、基礎資料に基づき、1年目：30DMA、2年目：30DMA、3年目：40DMAの漏水箇所を選定のうえ漏水調査を実施する。
- ・ 漏水調査終了後、漏水調査報告書を作成する。（添付資料③参照）
- ・ DMA区域の図面に配水管・給水管別に漏水箇所を記入し図示する。
- ・ 漏水調査の年間結果を一覧表として作成し報告書にまとめる。

また、老朽管更新計画書については、次の項目を重点に更新計画を立てるよう漏水管理課長、計画課長と協議し了解を得た。

- ・ 漏水が多く発生している配水管
- ・ 建設年度が古く、配水管の継手部分からの漏水が発生している配水管
- ・ 給水人口の増加に伴い給水不良地区がある場合：配水管網計算の結果、適正でないと判断される口径の配水管
- ・ PDAM Tirtanadiの送水・配水管のうち、管網計算で口径が小さいと判断される送水・配水管

本事業を通じて、漏水調査計画書の作成や漏水調査機器の取扱方法、漏水調査方法、漏水箇所の修理方法、無収水削減対策手法（ステップテスト、夜間最小流量計測、流量計計測、水圧測定手法）、無収水削減計画の作成、老朽管更新計画書の作成等、無収水削減対策について総合的に技術移転を行ったが、PDAM Tirtanadiの総合的評価として技術移転の達成度合は80%を超える評価であった。特に漏水調査機器の維持管理、漏水調査方法に関しては、すでにPDAM Tirtanadi職員自ら積極的に漏水調査を実践する等の成果を上げている。



## Data Management of Color Imaging and Mesh Map for Leakage Management (example)

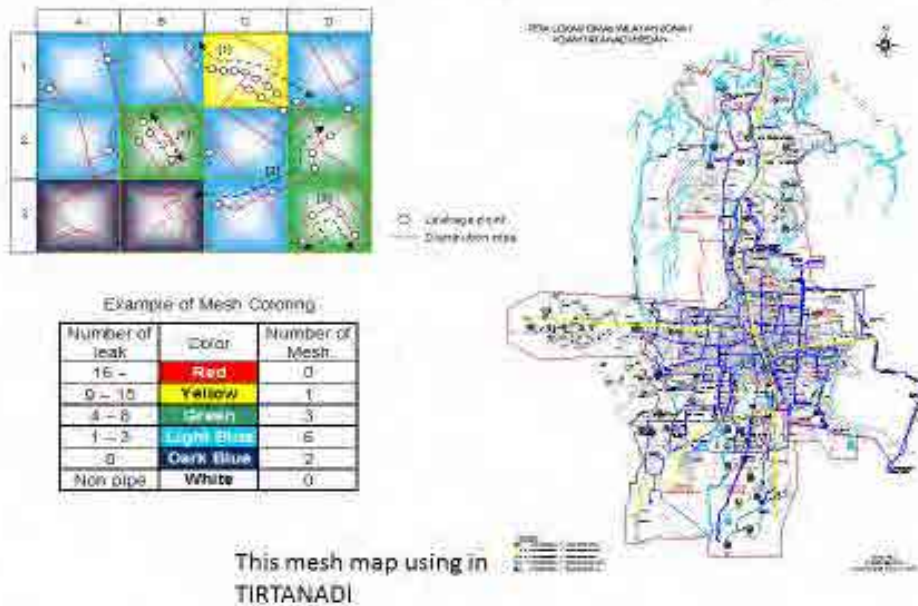


図 3-74 メダンの漏水管理図

### ⑤事業の成果

- ア. 漏水調査機器の実証及び普及：本事業期間中に実施したセミナー等を通して、インドネシアにおける本調査機器の有効性を他の水道事業体等に対しても周知することができた。本事業後もあわせて、公共事業省及びインドネシア水道協会と協力しつつ普及活動を展開する予定である。
- イ. 安定的・安全な水の供給の実現：今回の漏水調査だけでも無収水率を約 17%削減した。水質改善・水圧確保を実現するためには、更なる漏水調査の実施に加え、適切かつ計画的な修理・施工による老朽管の更新が必要である。
- ウ. PDAM Tirtanadi の経営安定化：今回の漏水調査を通じ 173,000 m<sup>3</sup>/月相当の漏水を削減したことで、水道料金として今後 5 百万円/月相当の無収水削減に貢献することとなる。本事業では、PDAM Tirtanadi の経営状況にどのように反映されるかまで確認できなかったため、本事業後も情報収集し分析をする予定である。
- エ. PDAM Tirtanadi 職員に対する無収水対策にかかる技術移転及び意識向上：第 4 回漏水調査終了後も職員のみで大きな地下漏水を D305 と AS610 により検出したとの報告を受け、技術移転が確実に行われたことが確認できた。また、ジャカルタで行われた LCC セミナーにおいても、他の水道事業体と比較して意欲的な姿が見られた。熟練差が求められる従来の音聴式に比べ初心者でも検出しやすい音聴式漏水探索器や高い無収水削減効果が得られる D305 及び AS610 による地下漏水の検出によって、同職員の意識は本事業開始時に比べ大きく向上したといえる。

### (3) 開発課題解決の観点からみた貢献

第1次から第4次までの現地調査の結果、漏水調査対象 DMA 全体の無収水率は調査前の 41.82% から 24.45% と約 17% 減少する等、本事業はインドネシアの無収水削減対策に対し一定程度貢献しうることが証明できた。また、PDAM Tirtanadi 職員に対する技術移転に関しても、本事業を通じ無収水削減対策全般について行ってきたが、その中でも特に漏水調査については技術が定着してきている。第3、4次現地調査においては PDAM Tirtanadi 職員独自で漏水箇所を検出するなど着実に技術が向上していると言える。本事業を通じ、特に漏水調査にかかる技術移転は一定程度達成されたことから、ここで培った漏水調査機器・技術を活用し、本事業後も PDAM Tirtanadi 自身で漏水調査の実施計画立案から実践までを継続していくことにより、2015 年中期投資計画にある無収水率の目標値 22% の達成も可能であると考えられる。

他方で、前述のように PDAM Tirtanadi では DMA の構築がまだ 64 区域に留まっており、対象エリアにおける全体的な無収水率について完全には把握できていない状況であり、今後計画的に無収水を削減していくためにも、まずは DMA 未構築区域について早急に DMA 構築を進め、可及的速やかに対象エリア全体的な無収水率を正確に把握・分析することが望まれる。

このように、本事業ではメダン市の都市給水分野における課題の中でも、特に漏水対策という限定された側面から実証活動を行い、パイロット的に一部の DMA のみを対象に活動した結果ではあるが、今回提案機材を活用した漏水調査が無収水削減に確実に貢献することを実証することができた。また、あくまで概算ではあるが一定程度の水道収益の増加が見込まれるとの分析結果も導かれた。

これまでの漏水調査機器では全く検出できなかった漏水箇所を発見できる等、本事業を通じて導かれた結果は実証成果として意義ある内容である一方で、本事業期間中にはインドネシア国内で提案機材等が普及される段階まで至っておらず、同国の開発課題解決の観点からは未だ途上段階にある。

本事業後の活動・事業になるが、本事業で得られた成果を踏まえ、また同国内での普及の足掛かりを築くことができたことから、引き続き PDAM Tirtanadi やインドネシア水道協会等と協力し、効果的な漏水調査による無収水対策及び適切な維持管理について普及・拡大していく予定である。特に適切な漏水調査により水道事業者の収益増加が見込まれることから、その増収益による計画的な老朽管更新や故障水道メーター交換といった維持管理体制お改善を推進する等、健全経営に向けた好循環を生み出すきっかけとなると考えられる。このような好循環が普及・定着していくことで、PDAM Tirtanadi をはじめとして、インドネシアにおける給水事情が大きく改善していくことが大いに期待される。

### (4) 今後の課題と対応策

#### ① 商業地区における漏水調査の効率化

商業地区では配管の分岐が多く漏水箇所と分岐箇所の判別に時間を要する。今後のことも踏まえ、配水管網図面を整備・更新し分岐箇所を事前にチェックできる体制作りが求められる。

#### ② トレーサーガスの調達

水素式超高性能漏水探索機のためのガス調達先はメダン市内に 1 社のみ、しかもガス代金は高額である。ガスポンベの流通網が構築されることも必要であるが、今後この手法を配水管に活用することも念頭に入れると、どのような地域でも使用できるような機材の開発が必要である。

#### ③ 住民との接触が難しい住宅地区

第3回漏水調査における高級住宅街である Sei Agul/Amir Hamzah 地区のケースにみられるように、住人と接触のできない地域においては宅内の止水栓の借用、調査区間内の利用を一時停止すること

ができないため、水道メーター周り以外の漏水探索は難しい。実際この地域では流出量の多い配水管の漏水は検出できず検出された漏水流出量は全体の無収水量の 3%に過ぎない。商業地区でも似たようなことが言えるが、無収水削減を含む配水管維持管理のため仕切弁整備などが必要である。

#### ④配管敷設・修繕技術の向上

漏水箇所を発見してもその修理方法が適切でなければ再度配管が抜けて漏水する可能性がある。断水して管を切断、もしくは水を流しながら修理を行っているのが現状である。図 3-75 は、配管修理後の写真である。接続が不十分であると水圧がかかった時に最も弱い接続部分が抜けやすくなる。再発防止のためには継手部分を完全に乾燥させてからの修理方法を徹底させるといった、基本的な配管敷設技術を職員が熟知し業者へ徹底させるなど、全体的な技術の向上が必要である。



図 3-75 配管修理後：斜めに接続された管

塩ビ管修復作業でみられた問題点	
×配管が濡れた状態で接着する	○完全に水分をぬぐって接着する
×管と管を曲がって挿入する	○双方を平行に保ちまっすぐ挿入する
×ベル管のベル側に潤滑剤を塗る	○ゴムがめくれる原因になるのでベルでない側に塗る
×古タイヤのチューブの使用	○施工の均一性が保たれず、耐久性にも問題あり。あくまでも一時利用にとどめる。

#### (5) 事業実施後の相手国実施機関の自立的な活動継続について

漏水調査機器の有効性とその経済的効果は PDAM Tirtanadi 職員も認識しており、その操作方法も十分習得しているようである。既に独自で漏水調査活動を自主的に行い成果に繋がっているため、トレーナーズトレーニングによる技術移転が順調に行われたことが確認できる。今後さらなる意欲向上と技術普及のために、職員の中で競争原理が働くように成果主義を取り入れることを提案し、同意を得ている。

今後の維持管理を踏まえ、電池交換といった職員自身が行うことのできる簡単なメンテナンスについて講習した。消耗品の入手や修理依頼などがどの職員でもインドネシア語で気軽に行えるよう、いままで本事業に協力してきた梅田氏を現地連絡先として対応できるよう改めて契約を取り交わした。機材が使われないまま放置されないよう周辺国のメーカーと協力してサポート体制を整えている。

また、第 4 回漏水調査時に機材の取扱方法や探索手法をビデオ撮影しており、今後ビデオ教材を作

成する予定である。製作編集したビデオはPDAM Tirtanadiをはじめ関係機関へも配布する予定である。  
 なお、機材のメンテナンス及び修理問い合わせ先については次のとおりである。

表 3-80 メンテナンス問合せ先

現地総合窓口：Jamharil Umeda Email:harumeda@yahoo.com TEL. +62-(0)812-6036-142 (インドネシア語・英語・日本語対応)	
総販売元：Goodman Inc. Email :info@goodman-inc.co.jp TEL. +81-(0)45-701-5680 (英語・日本語対応)	
機種名	メーカー修理送り先
樹脂管用漏水探索機 D305 高精度デジタル圧力計 KDM30	Goodman Inc. Email:info@goodman-inc.co.jp TEL. +81-(0)45-701-5680
相関式漏水探索機アクアスキャン 610 小型軽量漏水探索機ポケットフォン	Gutermann Pty Ltd 9 Wrights Road, Drummoyne, NSW, 2047, Australia. TEL .+61-2-9764- 5433
小型音聴式漏水探索機ステットホン 水素式超高性能漏水探索機 VT460	Hermann Sewerin GmbH Robert-Bosch-Str. 3 D-33334 Gütersloh TEL. +49-524- 934-232
超音波流量計 F601	Flexim Instruments Asia Pte Ltd 10 Toh Guan Road TT International Tradepark #05-01A Singapore 608838 Email: llai@flexim.com TEL. +65-6794-5321

(6) 日本国内の地方経済・地域活性化への貢献

今回の現地業務では、弊社が提案する漏水探索機器 D305、AS610、小型軽量漏水探索機、音聴式漏水探索機 ST04 を使用した漏水調査が水圧の低い PVC 管路で有効なことが実証できた。横浜市においても給水管には PVC 管を使用しており、宅内漏水に応用することが可能で、水道修理業者で構成する横浜市管工事協同組合に機器の販売及び調査手法を伝えることにより、地方経済に貢献ができる。また同様に、日本でも全体の約 30%の地域において配水管に PVC 管やポリエチレン管などの樹脂管を使用している。本事業で実践した漏水調査手法を用いることで、既存の漏水探索機器や手法で発見できなかった漏水箇所を発見でき、有収率を向上させることで水道事業体の経営改善に寄与することができると思われる。

今回、低水圧の PVC 配水管の漏水を発見した AS610、D305、小型音聴式漏水探索機、小型軽量漏水探索 ST04 を使用した効率的・効果的な調査手法を国内の漏水調査へフィードバックしていく予定である。