

研究成果報告書

研究開発課題名	小口径高圧パイプラインシステムの圧力監視・漏水事故原因診断・対策技術の開発
研究総括者	古川 重信
研究開発組合	旭有機材株式会社、日本エマソン株式会社、株式会社テクノス、一般社団法人 畑地農業振興会
試験研究機関	農研機構 農村工学研究部門

1 事業の実施内容

1. 1 事業の背景及び目的

農業農村整備事業で敷設された基幹的な農業用パイプラインの総延長は 12,000km（農村振興局、2008）を超えている。それら農業用水利施設の突発事故の約半数が農業用パイプラインの破損事故（図 1）である。特に、九州・沖縄地域における畑地灌漑用のパイプラインシステムでは、小口径管の破損事故が増加傾向にある。例えば、沖縄県宮古島における農業用パイプラインの漏水事故の発生分布は、漏水事故が多く発生する区間とほとんど起こらない区間に二極化する傾向がある（図 2）。これは漏水



図 1 支線パイプラインの破損事故現場状況

事故の発生原因が存在しているにもかかわらず、管理者が原因の究明が行えず適切な対策を講じていないことを示していると推察される。農業水利施設のストックマネジメントのサイクルにおいて、漏水事故が複数回発生した区間での保全対策は、保全計画の策定のために詳細な機能診断による原因調査

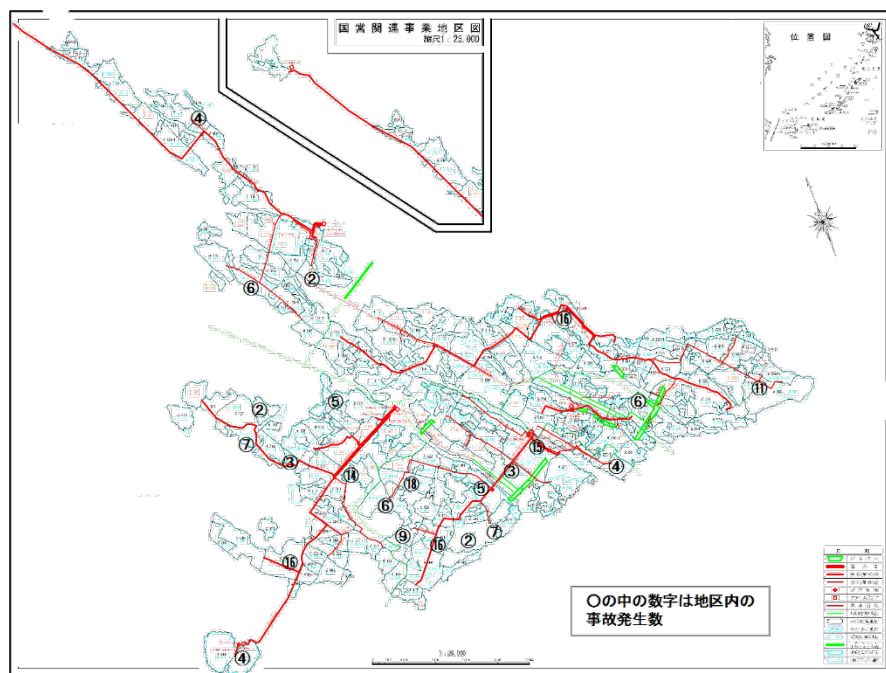


図 2 宮古島の農業用パイプラインの漏水事故発生分布

が求められている。しかし、小口径管では人が管内に入って近接目視などの直接的定量調査を行うことが困難であるため、破損個所の位置や変状を把握することが困難であった。

この現状に対して、本研究開発事業では、小口径高圧パイプラインについて、漏水事故の兆候を監視、管と附帯施設の状態の点検、漏水事故の可能性と原因の診断、および漏水予防対策を容易に行えるように管理者の支援を行う技術を開発する。具体的には、受益地内に埋設された支線水路の管内水圧を監視することによって、漏水の早期発見や附帯施設の不具合を検知し、管理者の巡回の負担を軽減すると共に、附帯施設や管路の状態の監視や点検を行い、漏水事故が発生する可能性を未然に検知したり、漏水事故の発生原因を究明したりして漏水診断を行う。診断の結果、適切な漏水事故予防対策を提案することによって、ライフサイクルコストの最小化を実現することを目指している。

以上の課題を解決する小口径高圧パイプラインシステムのストックマネジメント技術を開発するために、本研究開発事業では、次の 4 点の技術開発を目標に研究開発を行う。

- 1) 簡単に管内水圧を監視する手法の開発
- 2) 漏水事故の位置や原因を診断する技術の開発
- 3) 漏水事故を引き起こす水理現象の対策手法の開発
- 4) 小口径高圧パイプラインの漏水事故対策に関するマニュアル（案）の作成

1) 簡単に管内水圧を監視する手法の開発

広域の受益地区内に敷設された支線水路パイプラインの漏水の発見や附帯施設の不具合を検知する技術を開発する。具体的には、**図 3**に示すように、無線送信機を内蔵した圧力計を漏水が疑われるパイプラインシステムの適切な位置に設置し、計測した情報をサーバーに集積して、漏水区間の発見や附帯施設の不具合を検知することができる技術である。この技術を、ワイヤレス可搬型 CPM (Computational Pipeline Monitoring) システムと呼ぶことにする。

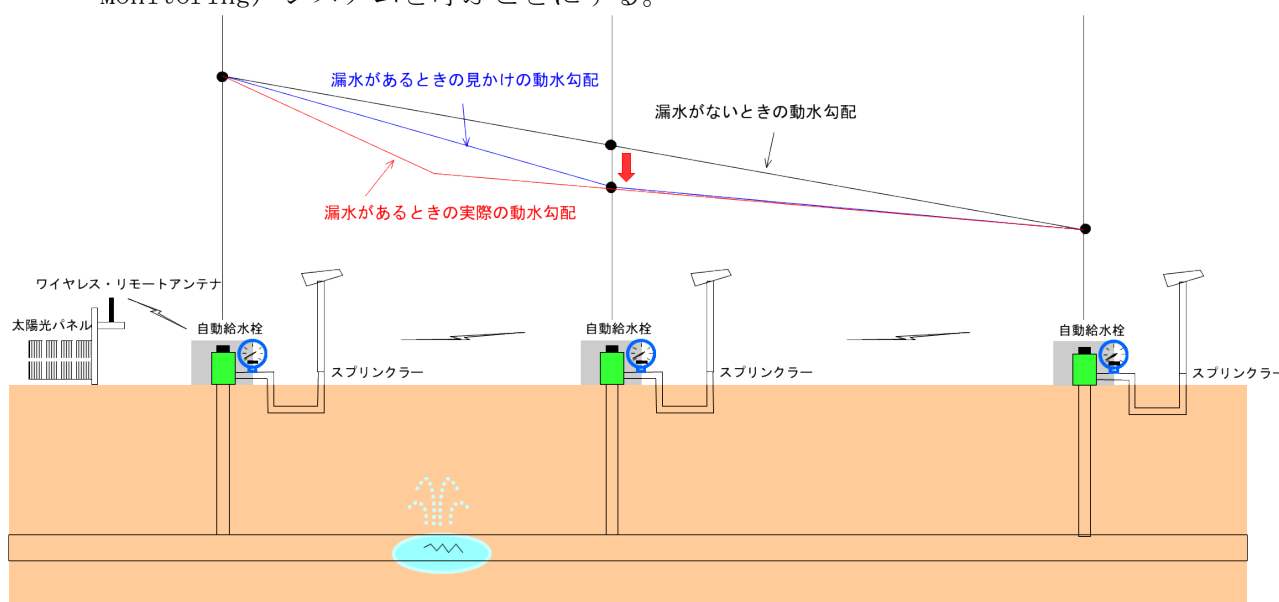


図 3 ワイヤレス圧力センサーによる管内水圧の監視技術

2) 漏水事故の位置や原因を診断する技術の開発

選定した漏水区間の破損原因を安価で容易に診断する技術を開発する。ここで開発する技術は、1) の技術で発見した漏水区間をより詳細に点検することで、漏水の状態とその原因を診断する技術である。具体的には、図

4 に示す空気弁にモニタリングスポットを設置し、不断水で管内へカメラを投入・回収することで、容易に管内を観察して漏水位置や変状を確認する技術である。さらに、漏水の原因を診断する技術は、図

5 に示すようなモニタリング施設を設置して記録時間間隔が短い圧力計測や弁の開度計測を行い、漏水事故の原因とみられる水理現象（水撃現象や付帯施設の挙動による水理現象等）を引き起こす要因を診断する技術を開発する。

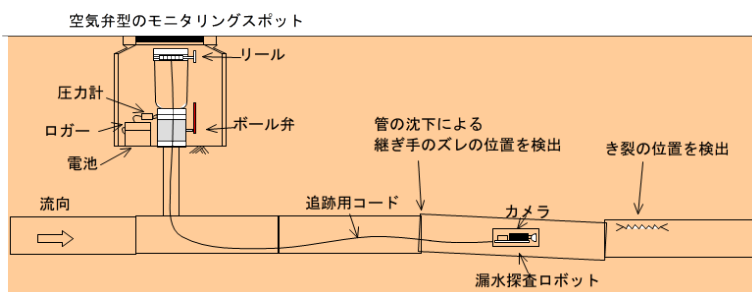


図4 モニタリング施設による漏水位置や状態の点検技術

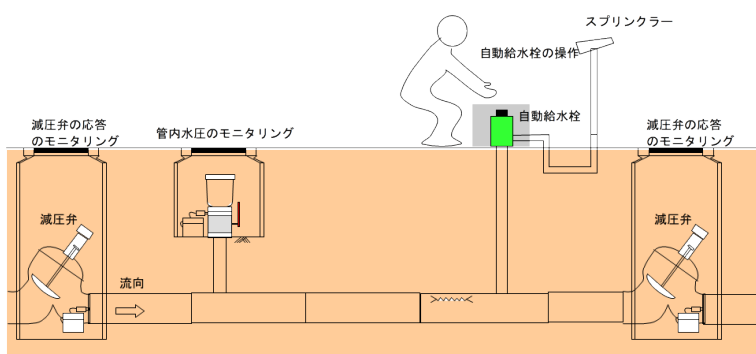


図5 モニタリング施設による破損原因の診断技術

3) 漏水事故を引き起こす水理現象の対策手法の開発

診断された破損原因を改善するために適切な対策方法として提案する技術を開発する。具体的には、自動給水栓の急閉塞による水撃現象が生じている場合は、管内の圧力上昇を緩和する装置を開発し、減圧弁の応答によって圧力脈動や圧力上昇が生じている場合は、パイロット弁を自動で洗浄する装置を開発する。

4) 小口径高圧パイプラインの漏水事故対策に関するマニュアル（案）の作成

小口径高圧パイプラインの漏水事故対策に関するマニュアルを作成する。ワイヤレス圧力センサーによる圧力監視、モニタリング施設による管と付帯施設の状態の点検、漏水位置の特定や漏水原因を診断する手順を整理する。

1. 2 事業の内容及び実施方法

本研究開発事業では、小口径管路について漏水事故の監視、管と付帯施設の状態の点検、

漏水可能性と原因の診断、および漏水予防対策を容易に行う技術を開発する。したがって、研究開発する技術内容は、以下の 3 点である。

- 1) 管内水圧を監視する技術
- 2) 管と附帯施設の状態を点検し、漏水の原因を診断する技術
- 3) 漏水原因を解決する予防・対策技術

これら 3 つの研究開発内容を実現するための装置として、ワイヤレス可搬型 CPM システム、モニタリングスポット、管内圧力緩和装置、および自動逆流洗浄フィルターを製作する。

本研究開発の取り組みにおいては、フローを図 6 示す。

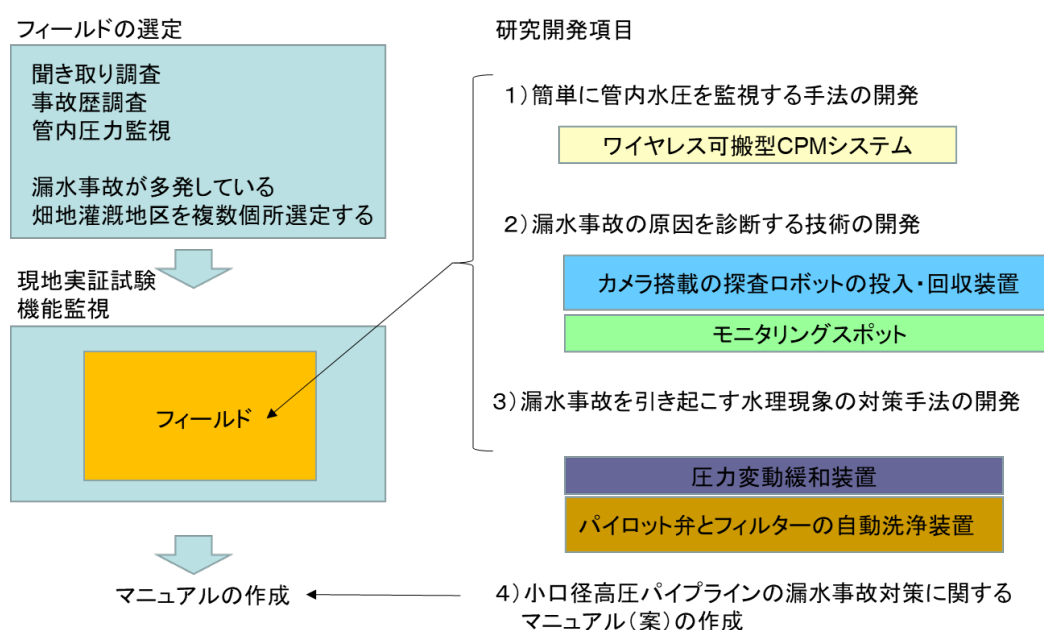


図 6 本研究開発の取り組みフロー

はじめに、破損事故の特徴が異なる地区をフィールドとして複数箇所選定する。つぎに、特徴の異なるフィールドにおいて、研究開発する内容を現地実証する。複数のフィールドで現地実証することによって、多様な条件に対応した実用的な製品開発を行う。最後に、現地実証フィールドの結果を整理し、本製品のマニュアルを作成する。

診断技術及び対策工法の定量的な評価手法は、漏水事故低減率を算出することによって評価する。ここで、漏水事故低減率とは、対策前の年間漏水事故件数（A）であり、対策後の年間漏水事故件数（B）であるとすれば、その数式は $(A-B) / A$ で表す。

この指標は、実証試験地区の発生事故歴を調査することで算出できる。この値が低ければ、診断技術で原因推定が適切でなかったか、対策工法で選択した対策が適切でなかったことを示しており、再度、機能診断の行程に戻って実施する。

(1) 管内水圧を監視する技術の研究開発

図 7 に示すように、漏水事故が多発している地区や漏水が疑われる地区のパイプラインシステムに簡単に設置して、管内水圧を監視することによって漏水している区間を発見する技術を開発する。施設管理者が容易に設置できるようにするために、圧力センサーはワイヤレス通信機能を備え、配置した圧力センサーが自己組織型ネットワークを形成する仕組みを開発する。具体的には、通信規格として WirelessHART™ を利用して、自己組織・自己修復型メッシュネットワークを形成させることによって、あらゆる圃場に設置可能な可搬性を実現する。

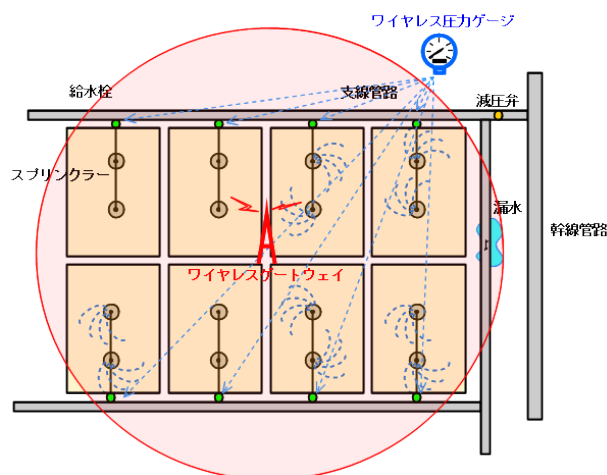


図 7 管内水圧を監視して漏水区間や附帯施設の不具合を検知する技術

(2) 管と附帯施設の状態を点検し、漏水の原因を診断する技術の研究開発

管内水圧の監視によって漏水が発見された区間において、管内のき裂や変状による漏水位置を検出し、漏水事故の原因を究明する技術を開発する。具体的には、図 8 に示すように、空気弁から不断水でカメラを搭載したロボットを管内へ投入・回収する仕組みを備え、管内の近接目視点検が行える装置を開発する。さらに、農家が自動給水栓を操作した際に生じる水撃圧や減圧弁の応答による圧力上昇や圧力脈動など急激に変動する管内水圧や弁の開度を計測して漏水事故の原因を究明する技術を開発する。

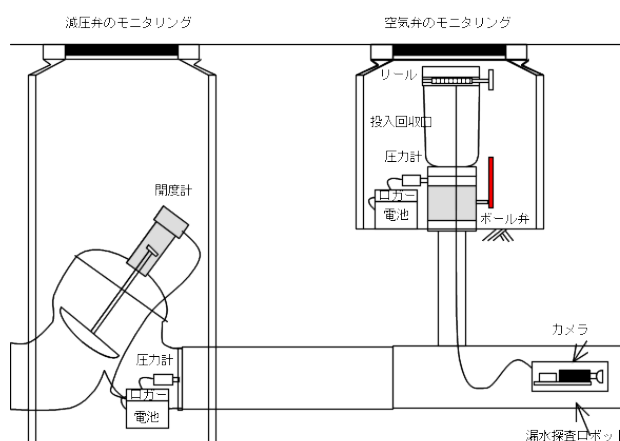


図 8 減圧弁と空気弁におけるモニタリング施設

(3) 漏水原因を解決する予防・対策技術の研究開発

疲労破壊の原因が圧力脈動や水撃圧などの水理現象が原因である場合、これらの水理現象はパイプラインシステムが地下埋設されていることによる難アクセス性によってもたらされた減圧弁の調整不良やメンテナンス不足などが要因として考えられている。漏水原因を解決するために、予防と対策の技術を開発する。予防技術として、図 9 に示すように、減圧弁を制御するパイロット弁の誤動作を防ぎ、水圧の急激な上昇や脈動現象が生じないように、減圧弁のパイロット弁やフィルターの自動逆流洗浄フィルターを開発する。

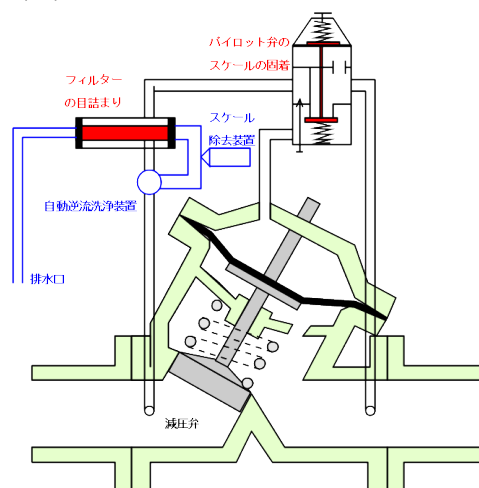


図 9 減圧弁の制御系の自動洗浄装置

対策技術としては、水圧の急激な上昇を緩和するために、図 10 に示すような特許出願中の管内圧力変動緩和装置を適用した際の効果を数値化する。

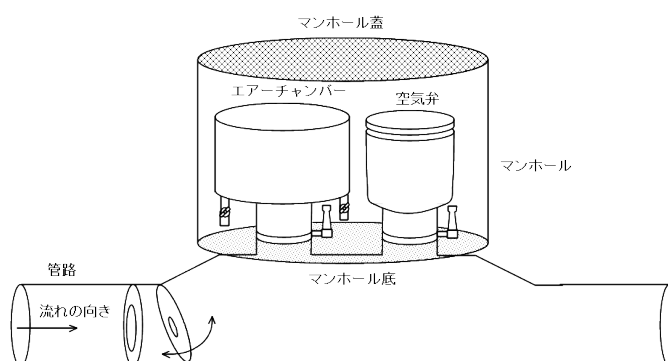


図 10 圧力変動緩和装置による疲労破壊対策技術

(4) 実証試験

現地実証試験の手順は、図 11 に示すフローを想定している。はじめに、畑地灌地区に灌漑用水を配水している高圧パイプラインの支線水路を選定して行う。全国の畑地灌地区は地域の特徴があることが予想されるので、特徴の異なる箇所をフィールドとして複数選定して、それぞれに対して現地実証試験を行う。

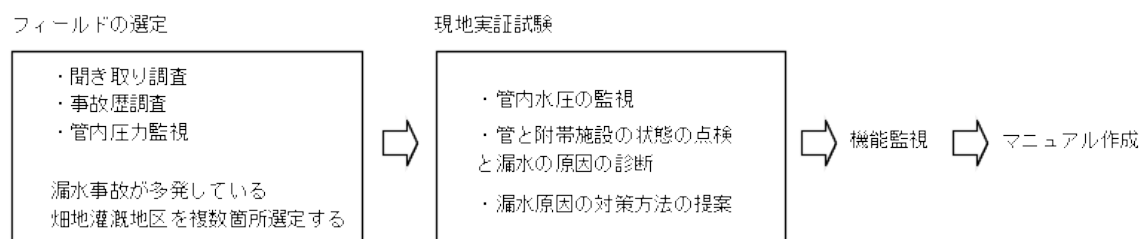


図 11 実証試験のフロー

現地実証試験におけるフィールドは、表 1 に示すように、漏水事故の多数有ることが必須の選定条件である。さらに、本事業の最終的な成果の全国展開を見据えて、地形や管内水圧に係わるパイプライン形式や想定している原因の特徴など、

全国的に生じうる条件を網羅できるように選定する。フィールド数は、現時点では表 1 の整理に従い 4 地区のうち 2 地区を選定した。これらの調査は、試験研究機関による調査結果を踏まえつつ、本事業の成果をマニュアルへ反映させる。

表 1 全国的に想定される管破損の原因・水理現象と実証フィールドの関係

地形	作物	管内水圧の大きさ	破損事故数	管破損の原因と予想される附帯施設	管破損を引き起こすと思われる水理現象	現地実証フィールド
平坦	水田	低	少ない			
やや急	畑	高	多い	分岐管・屈折管	スラスト力	宮古島・石垣島・多良岳・一ツ瀬川
				自動給水栓	水撃現象	宮古島・石垣島・多良岳
				ファームポンド	エアハンマー現象	宮古島・多良岳
				減圧水槽	水撃現象	多良岳
急峻	果樹・茶			減圧弁	急激な圧力上昇	宮古島
					脈動現象	石垣島・宮古島
				ポンプ	急激な圧力上昇	一ツ瀬川

例えば、宮古島シラカネ地区を選定して、現地実証試験を実施する場合は、ワイヤレス可搬型 CPM システムによる圧力監視の位置とゲートウェイの設置位置は図 12 のようになる。

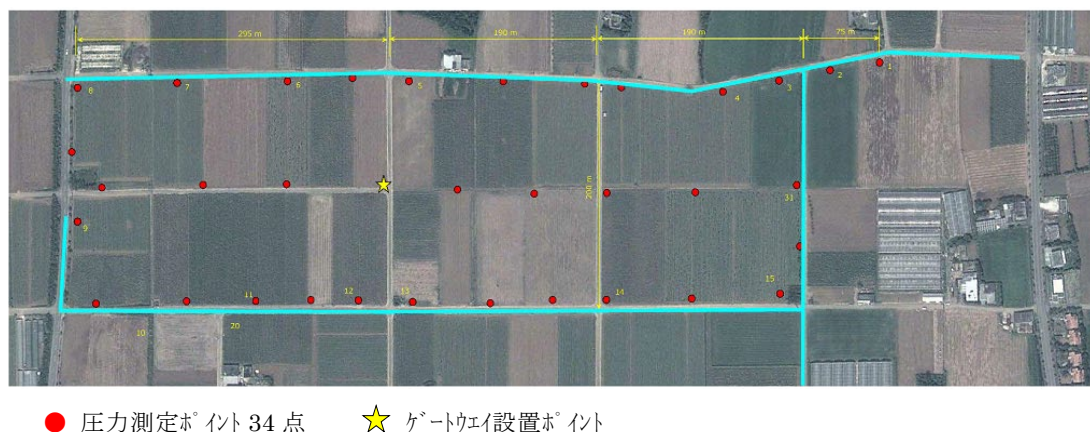
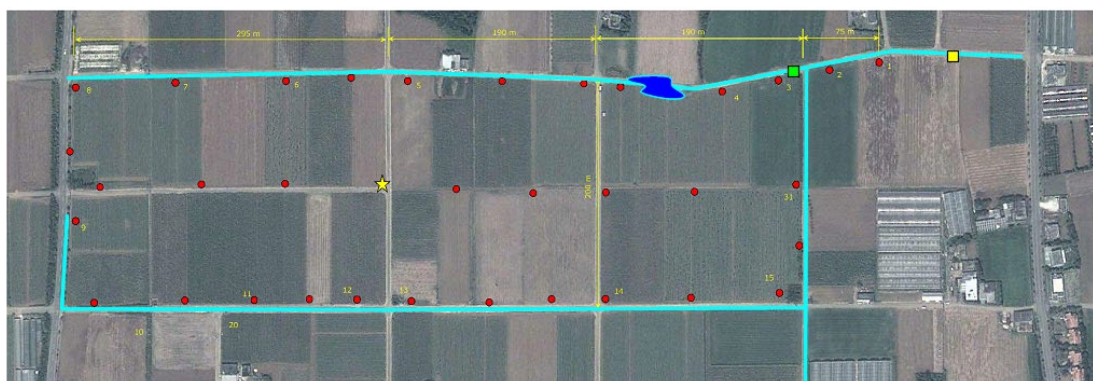


図 12 宮古島シラカネ地区で現地実証した際の圧力監視とゲートウェイの位置

圧力監視の結果、図 13 に青色で示す位置に漏水があることが疑われる場合、管の状態や漏水の原因を診断するために漏水が疑われる位置の上流側の空気弁と減圧弁にモニタリング施設を設置する。例えば、図 13 に四角で示す位置に設置する。

原因の診断の結果、減圧弁の動作不良であった場合、メンテナンスを支援するために自動逆流洗浄フィルターを設置する。自動給水栓の開閉による水撃圧が原因であった場合は、圧力緩和装置を下流端に設置する。これらの設置位置を図 14 に例示する。



● 圧力測定ポイント △ 測定した漏水ポイント ☆ ゲートウェイ設置ポイント ■ 空気弁のモニタリング施設 ■ 減圧弁のモニタリング施設

図 13 宮古島シラカネ地区で現地実証した際のモニタリング施設の位置



● 圧力測定ポイント △ 測定した漏水ポイント ☆ ゲートウェイ設置ポイント ● 圧力変動緩和装置 ● 減圧弁洗浄フィルター

図 14 宮古島シラカネ地区で現地実証した際の予防対策工の設置位置

上記の手順で対策を施した後、他のフィールドにおいて同様の手順で現地実証を繰り返す。

(5) 機能監視

機能監視は図 15 のフローを考えている。現地実証試験を実施して提案した漏水対策の効果についてモニタリング調査を継続して評価する。その評価結果を踏まえてマニュアルに反映させる。

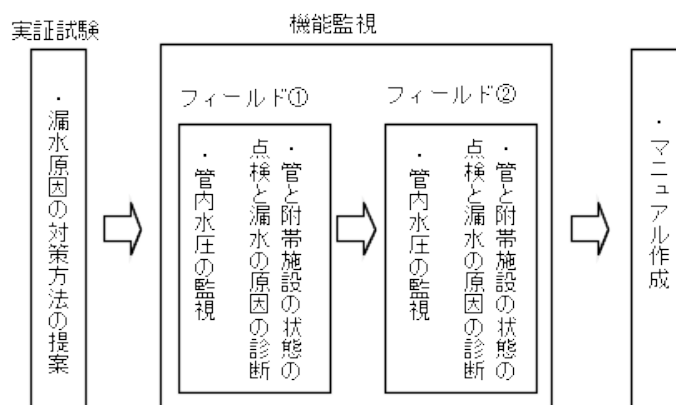


図 15 機能監視のフロー

1. 3 事業着手時に想定した技術的問題点への対応

技術的問題点	対応
①管内水圧を監視する技術 畑地灌漑地区において水需要の多い月では、農家の水利用頻度が高く、1日のうちに急激な圧力上昇が発生している。このような何時どこでどのようなイベントがもたらしたのか分からない圧力の変化が継続している間は、漏水箇所を検知することが困難である。	管内水圧を監視して、区間漏水の発見と附帯施設の不具合を検知するためには、夜間と日中における農家の水需要パターンの違いを使い分けて、計測した管内圧力から水理現象を推定するアルゴリズム必要である。 区間漏水の発見は、夜間の水需要がない状態における管内水圧の差圧から漏水量を計算して行う。他方、附帯施設の不具合の検知は、日中における給水栓の開閉による水撃現象や減圧弁の脈動現象を観測することによって行う。
②管と附帯施設の状態を点検し、漏水の原因を診断する技術 モニタリング施設を既設のパイプラインに設置する場合は、マンホールを新たに設置する必要があり、経済性と可搬性の面において不利である。漏水が疑われる箇所に簡単に設置して、迅速に漏水の原因を診断する技術が必要である。	空気弁を改造することによって省スペースで簡単に取り付ける技術開発を行う。
③漏水原因を解決する予防・対策技術 予防方法であるスケール除去機能付き自動逆流洗浄フィルターは、現地のパイロット弁の口径 10mm に接続する方式やフィルターのゴミを除去できる能力を発揮できるか検討が必要である。また、スケール除去のために希釈して混入させる酸として周囲環境に配慮した選定が必要である。 また、対策方法である圧力変動緩和措置は、室内実験による性能しか定ま	予防・対策技術の性能評価を現地実証試験地において実施することで技術開発を行う。

っていないため、現地実証試験地で性能を評価することが必要である。	
----------------------------------	--

1. 4 事業の実施体制

(1) 研究開発組合内の役割分担

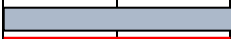
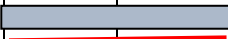
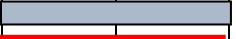
【役割分担表】

研究開発項目		事業実施主体				試験機関
		旭有機材	日本エマソン	テクノス	畑振	農研機構
①管内水圧を監視する技術	開発	○	◎	◎	○	○
	実証試験					
	機能試験					
②管と附帯施設の状態を点検し、漏水の原因を診断する技術	開発	◎	○	○	○	○
	実証試験					
	機能試験					
③漏水原因を解決する予防・対策技術	開発	◎	○	○	○	○
	実証試験					
	機能試験					
① マニュアル作成		○	○	○	◎	○

(2) 試験研究機関と研究開発組合の役割分担

農研機構は、現地実証試験の選定に協力し、開発技術が早期に実証試験を行えるように助言・指導を行う。また、マニュアル作成においても想定している対象者に利用して貰えるように助言・指導を行う。

1. 5 事業の年度計画と実績

研究開発項目		平成 29 年		平成 30 年		令和元年	
		上期	下期	上期	下期	上期	下期
①管内水圧を監視する技術	開発						
	実証試験						
	機能試験						
②管と附帯施設の状態を点検し、漏水の原因を診断する技術	開発						
	実証試験						
	機能試験						
③漏水原因を解決する予防・対策技術	開発						
	実証試験						
	機能試験						
マニュアル作成							

注)  は計画、 は実績。

1. 6 研究開発の概要、結果、課題等

各項目に対する結果および考察を以下に示す。

1) 簡単に管内水圧を監視する手法の開発

ワイヤレス可搬型 CPM システムの実証試験地区として宮古島地区を選定した。平成 30 年 4 月に、設計を行った後に宮古土地改良区と設置方法について協議した。協議終了後、平成 30 年 6 月 27 日にワイヤレス可搬型 CPM システム (図 16) の実証試験地区として宮古島地区 (図 17) に実装した。課題として、漏水を検知するアルゴリズムの検討が必要であると認識した。

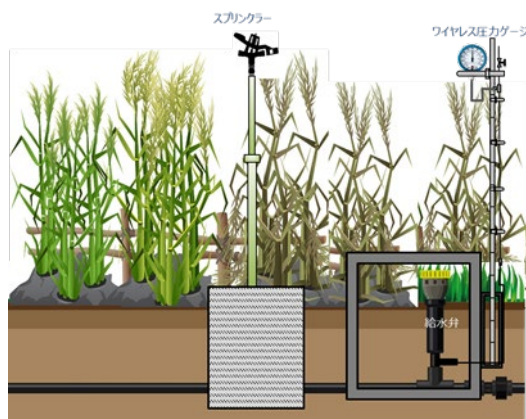


図 16 ワイヤレス可搬型 CPM システム

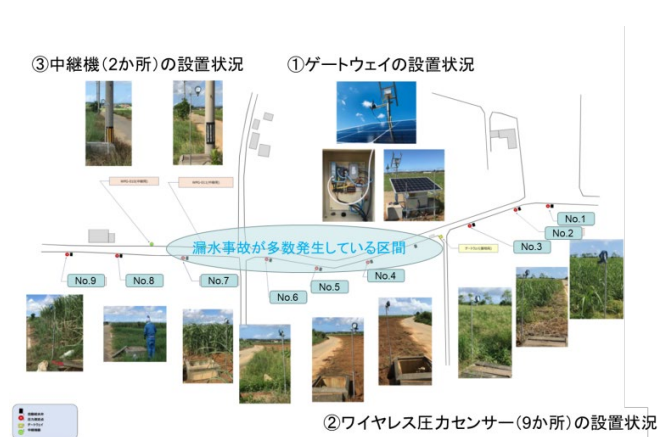


図 17 宮古島地区における設置状況

2) 漏水事故の原因を診断する技術の開発

a) モニタリングスポットによる漏水状態の点検技術

実証試験地区として宮古島地区を選定した。決定したカメラカプセルの仕様に基づき導入方法した。既設の空気弁施設を利用したモニタリング施設により、不排水で漏水検知カメラを搭載したロボットを管内へ投入、管内から回収することを当初から計画していた。その技術の設計を行い、平成 30 年度 7 月 20 日までに、一般的な空気弁施設で配置されているボール式補修弁 (75mm) 部に接続投入できる漏水検知カメラを搭載したカプセルと投入・回収装置を開発した。8 月に農工研の実験施設において、カプセルの止水性、カメラの映像、および投入・回収方法などを確認した (図 18)。課題として、カプセルの姿勢が安定する仕組みが必要であることを認識した。さらに、カプセルの止水性に問題があり、改良する必要性を認識した。



図 18 室内施設の様子

b) モニタリングスポットによる破損原因の診断技術

実証試験地区として、多良岳、一ツ瀬川、宮古島、および石垣島を選定した。減圧弁の開度を計測する装置を開発した (図 19)。上記の地区にモニタリング施設を設置した (図 20)。

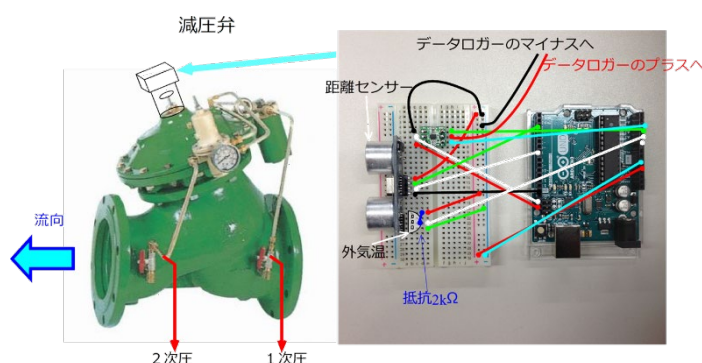


図 19 減圧弁の開度を計測する装置

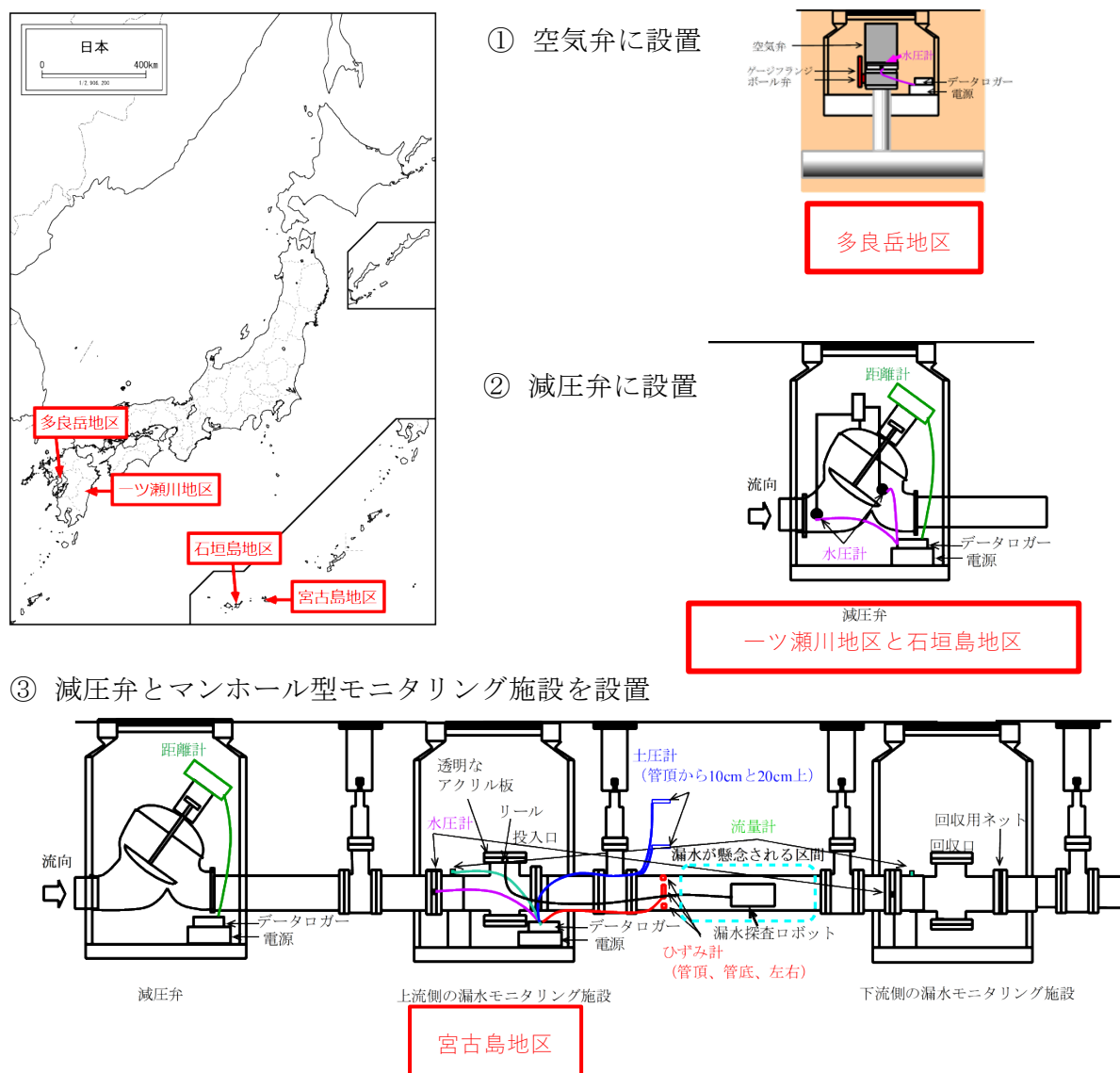


図 20 実証試験地区の位置とモニタリング施設の設置方法

3) 漏水事故を引き起こす水理現象の対策手法の開発

a) 減圧弁のパイロット弁の自動洗浄装置による疲労破壊対策技術

現地試験地区として、ファームpondから流入する貝や藻がフィルターに詰まったり、地下水に含まれるカルシウムが弁軸に析出したりして水質が良くない宮古島を選定した。自動洗浄装置は、酢酸投入装置が目詰まりしないように毎日深夜に一度の逆流洗浄を行い、排泥工へ排水する仕組みを設計した (図 21)。

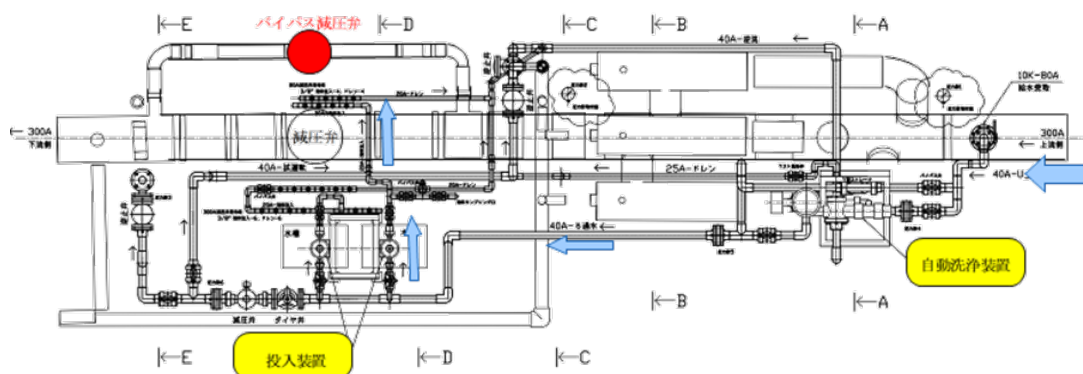


図 21 自動洗浄装置と酢酸投入装置

b) 圧力変動緩和装置による疲労破壊対策技術

現地実証試験は、多良岳と宮古島の 2 カ所を選定し、実証試験を開始し、効果を確認した。多良岳地区（図 22）では、水圧変動の振幅を 16%に減衰し、変動の継続時間を 54%に短縮した。他方、宮古島地区（図 23）では、水圧変動の振幅を 24%に減衰し、変動の継続時間を 19%に短縮した。



図 22 多良岳地区圧力変動緩和装置の設置例



図 23 宮古島地区圧力変動緩和装置の設置例

4) 小口径高圧パイプラインの漏水事故対策に関するマニュアル（案）の作成

圧力変動緩和装置の設置マニュアルを 3 月末までに完成させた。

1. 7 実証試験（現場適用）の概要、結果、課題等

1) 簡単に管内水圧を監視する手法の開発

計測結果を評価し、漏水事故を検出するアルゴリズムを検討した。このアルゴリズムは、ワイヤレス圧力センサーの設置高さの算出方法、②小さな漏水事故の検出方法、大きな漏水事故の検出方法で構成される。ここで、小さな漏水事故とは、漏水によって地面に大きな水たまりができる程度の流量が管から噴出する事故である。噴出する流量は約 1L/s である。他方、大きな漏水事故とは、管から噴出する水によって管の周りの保護砂が流されるような事故である。噴出する流量は約 2L/s 以上である。まず、設置したワイヤレス圧力センサーの設置高さは、深夜は農家による水利用はないために止水状態で

ある仮定することで、各センサーの計測値（静水圧）から設置高さを算出可能である（図 24）。例えば、ワイヤレス圧力計の番号を上流側から 1 番、2 番、3 番とすると、静水圧は、 H_1 、 H_2 、 H_3 であり、1 番のワイヤレス圧力計の設置高さを基準とすると、2 番、3 番の設置高さは、それぞれ $H_1 - H_2$ 、 $H_1 - H_3$ である。

ただし、小さな漏水がある場合は、深夜は止水状態と仮定していたにもかかわらず少量の水が流れ、各給水栓間でエネルギー損失が生じている。この場合、深夜のエネルギー損失から小さな漏水の検出を行うことができる。

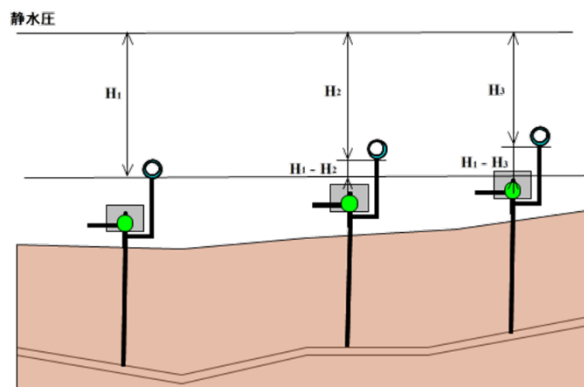


図 24 静水状態とワイヤレス圧力センサーの相対的な設置高さ

さらに、灌水日に水が流れている状態において、2 番と 3 番のワイヤレス圧力センサーの計測値（動水圧） h_2 、 h_3 に、先ほど算出したセンサーの設置高さ $H_1 - H_2$ 、 $H_1 - H_3$ をそれぞれ加えることで、2 番と 3 番のピエゾ水頭を算出できる（図 25）。

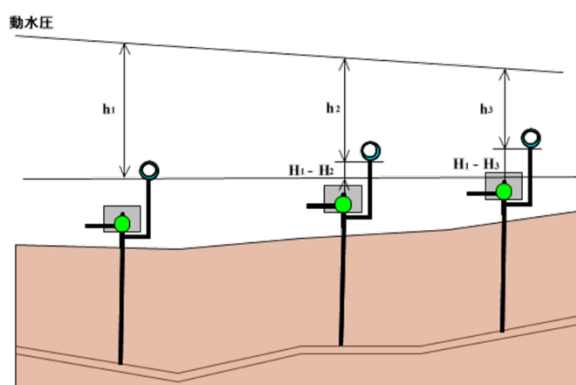


図 25 各ワイヤレス圧力センサーのピエゾ水頭

このピエゾ水頭の差から動水勾配を算出し、ヘーゼン・ウィリアムスの式に代入することで各給水栓間の流量を算出できる。仮にどこかの給水栓で灌水した場合、管内に流量が生じる。ただし、灌水時間は長くても 4 時間以上になることはなかったため、この時間を閾値とすることによって、漏水事故によって噴出している流量なのか、農家が水利用している流量なのか判断することができる。また、ある区間のピエゾ水頭が異常値を示した場合漏水事故が発生したと判断することができる。

課題として、灌水時間が 4 時間以上という判断基準を用いたが、圧力変動が生じさせる原因である農家の水利用の判断を特徴量としてアルゴリズムに反映させる必要性を認識した。

最後に、巡回労力削減の定量的な評価手法を検討した。ワイヤレス可搬型 CPM シス

テムを用いて年間メンテナンス有効度を最大に最適化することを労力削減効果の目標とする。ここで、メンテナンス有効度とは、【パイプライン施設が事故なく健全に利用できた時間】／【巡回に要する時間】と定義した。宮古土地改良区への聞き取りによると、実証試験地区におけるパイプラインに漏水事故件数は、表 2 のとおり、昨年度同様 1 件であったため、【パイプライン施設が事故なく健全に利用できた時間】は、【365 日 － 1 件 × 7 日間（断水時間）】である。また、日常の業務において、漏水事故を発見するための巡回はこれまで実施していない。よって、漏水事故の発見方法は 2 通りである。1 つは漏水事故を発見した農家や通行人からの通報である。もう一つは、水利施設の遠隔監視装置において、ファームポンド下流の流量計が異常値になった際の警報発生である。巡回に要する時間の定義は、漏水事故を通報で知った場合は、職員が宮古土地改良区から漏水事故現場に到着するまでの時間である。他方、警報で知った場合は、ファームポンドの下流側にある全ての支線水路において漏水事故発生個所を発見するための巡回作業が必要になる。宮古島地区の実証試験地区は東山ファームポンドを水源としている。東山ファームポンドには、9 つの支線水路がある。1 つの支線水路における漏水事故の巡回時間を 1 時間とすると、合計で 9 時間である。他方、ワイヤレス可搬型 CPM システムを用いた場合、9 つすべての支線水路に設置したと仮定すると、勤務している日（年間 248 日）にゲートウェイら配信された水理情報を 1 日 1 分間だけ確認した場合、約 4 時間（248 分間）と試算された。よって、年間メンテナンス有効度は、約 2 倍以上（＝ 9/4）の効果があると判断できる（表 3）。

表 2 宮古島の現地実証試験地区における漏水事故件数

年度	シラカネ地区
H28	1件
H29	1件
H30	1件

表 3 今年度の漏水事故件数における年間メンテナンス有効度の評価

ワイヤレス可搬型 CPM システム	年間メンテナンス有効度
未使用	358 日/9 時間
使用	358 日/4 時間

2) 漏水事故の原因を診断する技術の開発

a) モニタリングスポットによる漏水状態の点検技術

昨年度、開発した既設空気弁から漏水カメラカプセルを投入・回収する装置を用いて実証試験 2 回を行った（表 4）。試験を繰り返しながら検討を行い、改良を加えた（表 5 と表 6）。

表 4 漏水カメラカプセルと投入・回収装置の実証試験スケジュール

平成 30 年 10 月 15 日	農工研 実験施設	投入・回収用の竿の先端とロボットの接触部分を改良し、管内水圧 0.07MPa、流速 0.3m/s、口径 200A、管路へ空気弁からロボットを投入・回収する作業が円滑に行えるようになった。ロボットの円周方向に流体力を受ける羽を付けることで、姿勢が安定させることが可能になった。
平成 30 年 11 月 15 日	沖縄県宮古島地区	管内水圧 0.5MPa、流速 0.3m/s、口径 200A、管路へ、モニタリンスポットからロボットを投入・回収試験を行った。ロボットを投入・回収作業を円滑に行えた。しかし、ロボットの止水性と撮影用ライトの光量を改良する必要があることを認識した。
平成 30 年 12 月 26 日 ～12 月 27 日	沖縄県宮古島地区	ロボットの止水性を改良した結果、止水性は解決した。光の量は超高輝度 LED を増設することが改善したが、壁面に焦点が合わず、表面を詳細に撮影できない問題点が生じた。

表 5 室内試験における課題と改善策・問題点

取り組んだ課題	改善策・問題点など
漏水カメラカプセルを投入・回収することが円滑に行えるか。	カメラカプセルを本管から回収する際に、投入・回収用竿先端の滑車に糸が絡まることや空気弁の立ち上がり管と本管との間の T 字管部分においてカメラカプセルが引っかかることがあり、回収に失敗する時があったが、投入・回収用竿の先端を図 26 のように、滑車をなくしてくぼみを作ることでカメラカプセルの管内での動きが円滑になった。さらに、図 27 の右側の図のように、カメラカプセルの糸を接続する箇所段差をなくすことによって、カメラカプセルが T 字管に引っかかることが解消された。
止水性・耐圧性は確保されているか。	管内水圧 0.07MPa において確保できた。
カメラカプセルによって管内の撮影することができるか。	図 27 の右側の図のように、カメラカプセルの姿勢を安定させる羽を付けることで、撮影画像のブレは低減した。農工研の実験用水に懸濁物が多く含まれていたため、管内の壁面の様子を撮影することが困難であった。

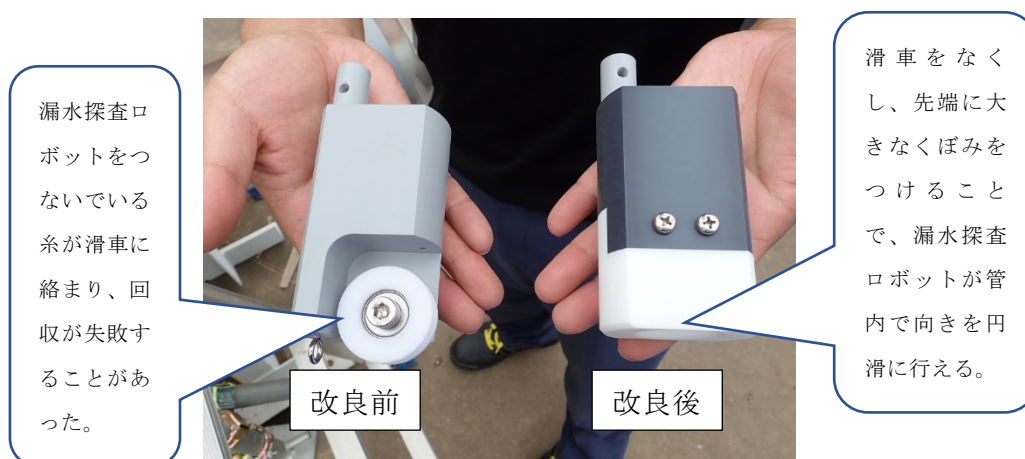


図 26 投入・回収用竿の先端部分の改良

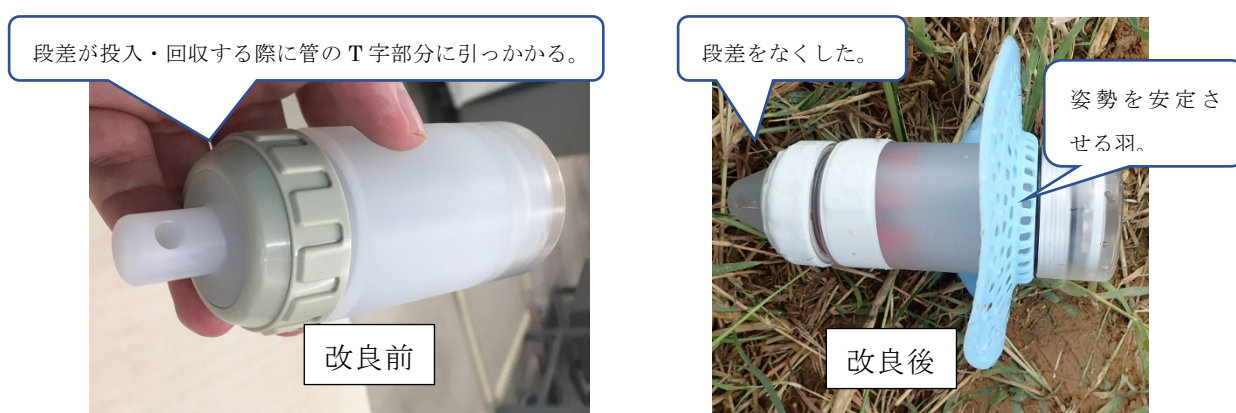


図 27 カメラカプセルの改良

表 6 現地実証試験における課題と改善策・問題点

取り組んだ課題	改善策・問題点など
埋設管の中のカメラカプセルが見えない状況下で投入・回収作業を円滑に行えるか。	ロボットの投入・回収方法は、投入装置の上部にある透明なフランジや投入・回収用竿やリールから伝わる糸の張る力や感触によって、竿から投入・回収する時に必要な情報が判断できた（図 28）。
管内が高圧状態での、投入・回収装置とカメラカプセルの耐圧性と止水性が保てるか。	漏水カメラカプセルと投入・回収装置は、止水性、耐圧性、操作性において問題ないことを確認した。
実際の水質の濁度や暗所環境下で、管内の壁面の様子を撮影することができるか。	管の継ぎ手のズレは明確に確認できるが、流れによってカメラカプセルの向きが振れることがあり、その際に、カメラと照明が当たって明るい箇所と暗い箇所ができる（図 29）。明るい箇所は、内壁面に付着した水垢やタニシは確認できたが、き裂を検出できていない。この問題点の対策とし

	て、き裂があったかどうかは未定であるが、より解像度の高いカメラを選定し、カメラカプセルに組み込む。さらに、一般的な農業用水の濁度に調整した水の中で、初期の漏水事故のき裂が撮影可能であるか検証する。また、カメラカプセルが振られて撮影する範囲にムラがあることについては、投入回数を増やすことによって、検出精度を上げる計画である。
--	---



図 28 実証試験の様子

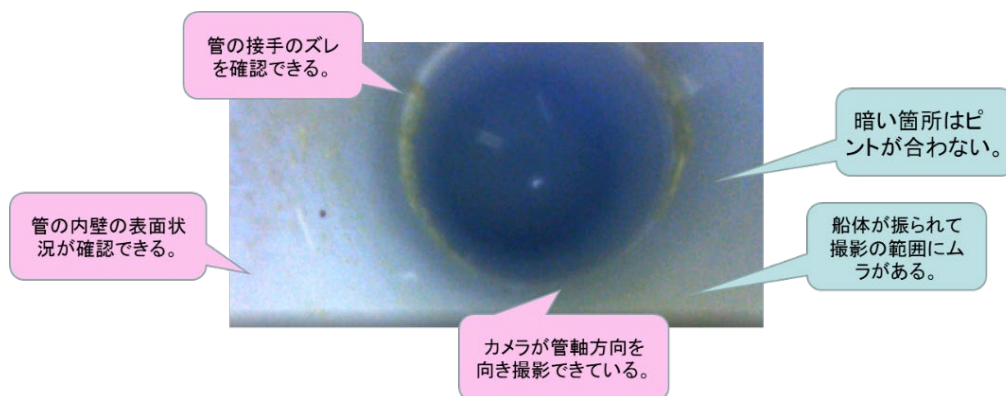


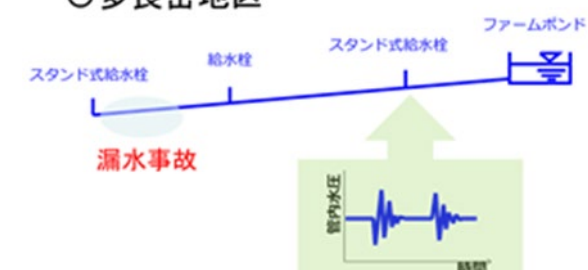
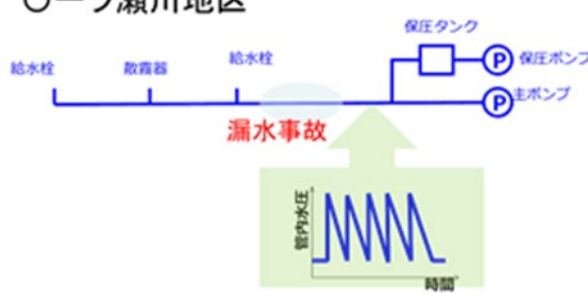
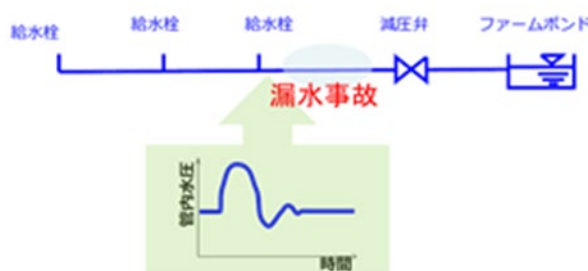
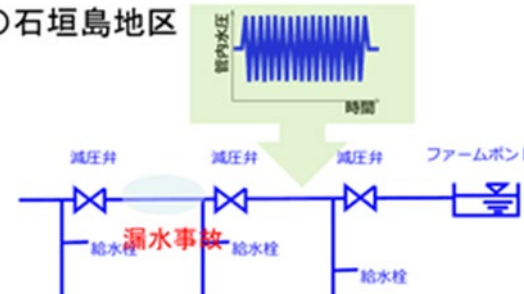
図 29 管内撮影画像の特徴

b) モニタリングスポットによる破損原因の診断技術

管内水压を測定して、実証試験を開始した。上記 4 地区がそれぞれ特徴的な送配水方式を持つパイプライン施設になっているため、漏水事故の履歴と管内水压や減圧弁の開度を調査して、管の疲労破壊と水理学的要因との関係を分析した。

実証試験地区における水压変動の特徴は、表 7 に整理した。

表 7 実証試験地区における水圧変動の特徴

実証試験地区	水圧変動の特徴
○多良岳地区 	多良岳地区では、給水栓の開閉操作による水撃圧（圧力水頭にして約 0.15MPa）が発生している。モニタリングしている箇所は静水圧が約 0.6MPa であるため、水撃圧発生時には、0.75MPa に達する場合がある。高低差が大きいが適切に減圧されているとは言えず、静水圧が 0.9MPa を超える箇所に塩ビ管が配管されている。減圧弁が配置されている箇所では、直動式の減圧弁が配置されている。
○一ツ瀬川地区 	一ツ瀬川地区では、常に保圧ポンプの ON-OFF を繰り返している。圧力水頭が 58m に達すると保圧ポンプが起動し、下流側の圧力水頭が 75m に達すると保圧ポンプが停止する仕組みである。よって、圧力水頭差 0.17MPa の範囲で、2 分間の圧力上昇、約 20 分間の圧力降下が繰り返されている。年間の振動回数は、23,890 回/年であった。
○宮古島地区 	宮古島地区においては、減圧弁の下流側において、給水栓を閉塞した場合に約 3 分間で圧力水頭が約 0.14MPa 上昇し、その後約 15 分間かけて降下する現象が発生していた。夜間と灌水日以外の日は、給水栓の操作を禁じられているが、農家は規則を守らずに水利用を行っている例が多い。
○石垣島地区 	石垣島地区では、減圧弁が幹線水路から支線に分岐した下流側に設置されている。農家が水を利用する時間帯では、これら減圧弁の幹線水路側（1 次側）の圧力水頭が 0.7MPa から 1.4MPa の間で脈動現象を継続している。支線水路側（2 次側）の圧力水頭は常に 0.54MPa で一定に保たれている。

破損した管を採取して、破面を観察したところ、図 30 に示すように実証試験地区によって異なる破損形態であることが分かった。

表 8 に証試験地区における管の破損事故の特徴を整理した。多良岳地区では、ソケットの破損、埋め戻し材の中の石が繰り返し衝突した疲労破壊、管軸方向のき裂など様々な破損形態があった。他方、一ツ瀬川地区や宮古島地区では、管軸方向にき裂が発生する破損形態であった。しかし、これらの原因は、ソケットの破損については管の形状が変形する箇所でのスラスト力であり、埋め戻し材の中の石の衝突と管軸方向のき裂は水圧変動による管径の伸縮が原因である。よって、これらの漏水事故の原因は、水圧変動が原因であると推察される。

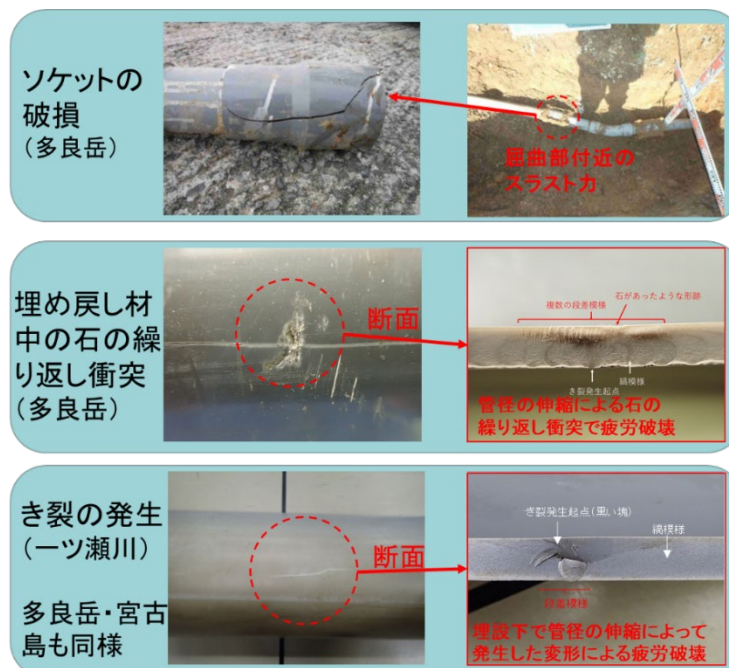


図 30 管の破損の形態

表 8 実証試験地区における管の破損事故の特徴

実証試験地区	送配水方式	管の破損の特徴
多良岳地区	減圧施設無しの自然圧流下方式	破損管の口径は 65A、100A である。ソケットの破損、埋め戻し材の中の石が繰り返し衝突した疲労破壊、管軸方向のき裂である。き裂発生起点に黒い塊がある。
一ツ瀬川地区	ポンプ圧送方式	破損管の口径は 200A である。管軸方向のき裂である。き裂発生起点に黒い塊がある。
宮古島地区	多段的な減圧施設有の自然圧流下方式	破損管の口径は 100A から 300A である。管軸方向のき裂である。き裂発生起点に黒い塊がある。
石垣島地区	多段的な減圧施設有の自然圧流下方式	実証試験地区では、1 次側の漏水事故は铸铁管の腐食であり、下流側は発生していなかった。

黒い塊がき裂発生起点となっているようであったため、一ツ瀬川地区で採取した黒い塊については、蛍光 X 線分析を行った。

蛍光 X 線分析によって、異物の成分と塩ビ管の成分を測定して、比較した。

異物の成分を計測するときは、図 31 と図 32 のように、黒い塊に X 線が照射するように調節し、塩ビ管の成分をするときは、図 33 と図 34 のように、黒い塊に X 線が照射しないように的を外して計測した。No.1 から No.4 は一つの試験片に対して X 線を照射するポイントを変えたものである。



図 31 No.1 異物に X 線を照射



図 32 No.2 異物に X 線を照射

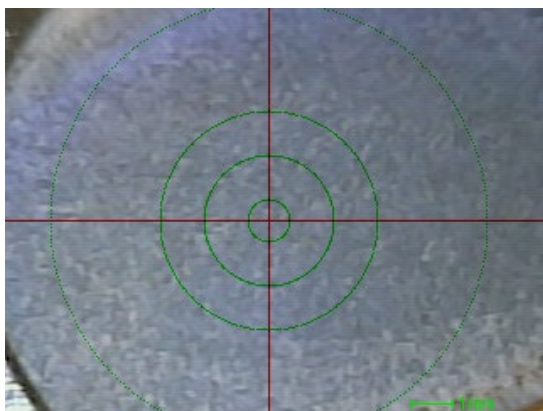


図 33 No.3 異物以外の箇所に照射

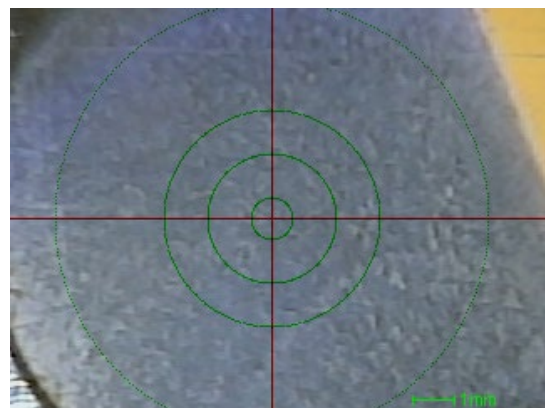


図 34 No.4 異物以外の箇所に照射

分析結果を図 35 と図 36 に示す。図 35 から黒い塊（No.1 と No.2）には、炭素成分（CH²⁰）が多いことが分かる。図 36 は、ポリ塩化ビニルの塩素成分（Cl）と炭素成分（CH²⁰）を除いて百分率に整理したものである。成分は、ナトリウム（Na）、カルシウム（Ca）、鉛（Pb）、硫黄（S）、チタン（Ti）、シリカ（Si）、鉄（Fe）、アルミ（Al）などが含まれていることが明らかになった。これらは、塩ビ管の製造段階で混合する安定剤や塗料の成分である。このことから、黒い塊は、塩ビ管の製造工程で焦げてしまった塊が塩ビ管の材料の中に混入したと推察された。

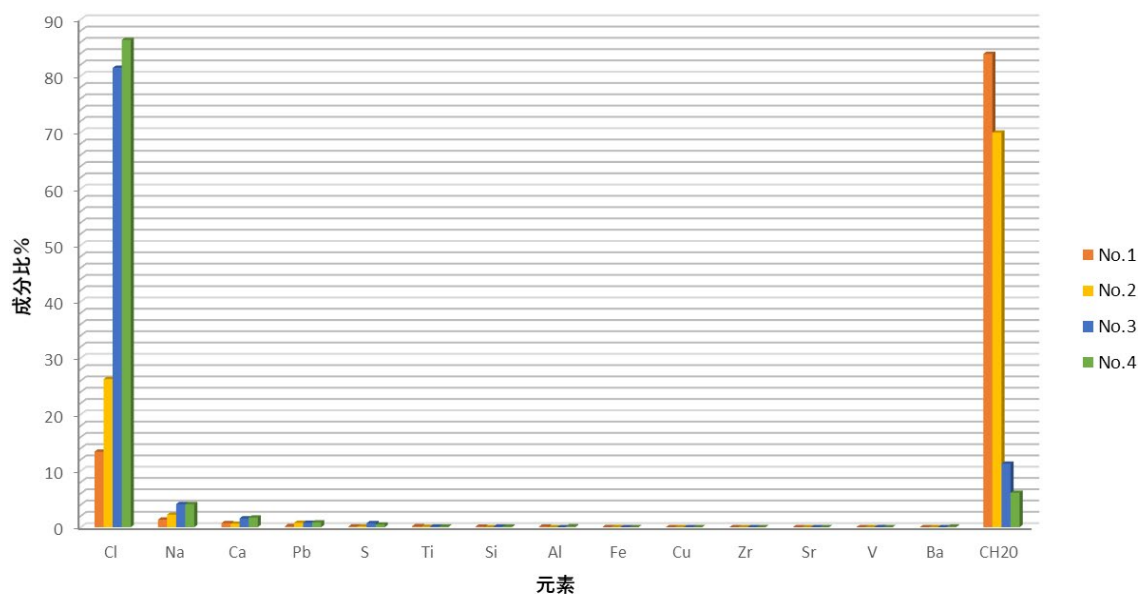


図 35 黒い塊 (No. 1 と No. 2) の元素成分比

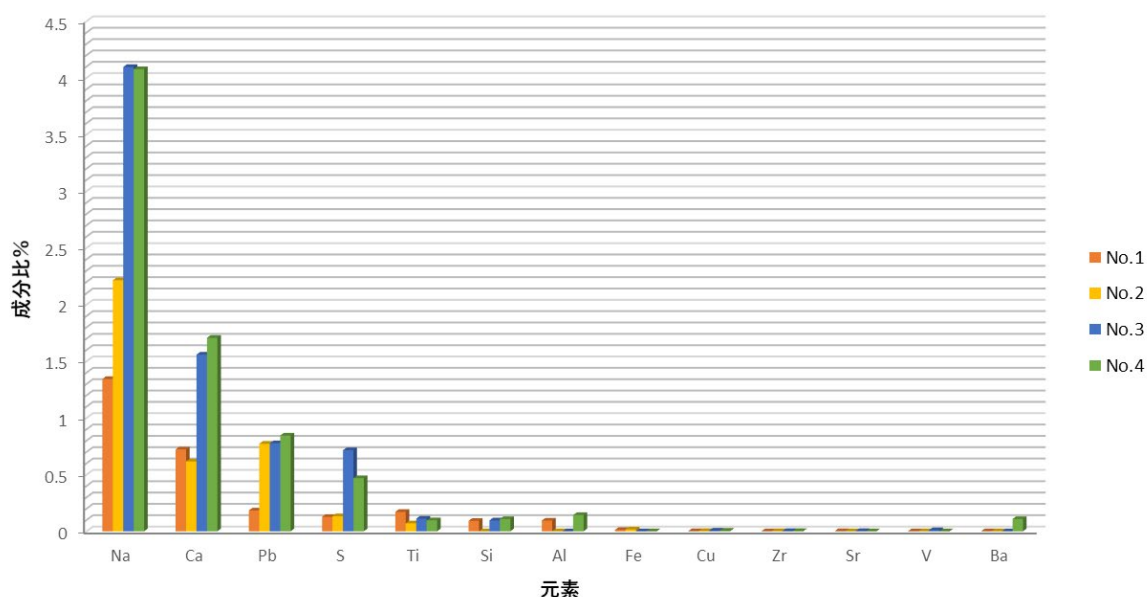


図 36 異物以外の箇所 (No. 3 と No. 4) の元素成分比

モニタリングスポットによる破損原因の診断技術については、マニュアルを作成し、特許出願を行った。マニュアルにおいて、調査方法や様々なパイプラインにおける圧力変動による漏水事故の対策法を記載した。

3) 漏水事故を引き起こす水理現象の対策手法の開発

a) 減圧弁のパイロット弁の自動洗浄装置による疲労破壊対策技術

宮古島地区において実証試験を開始した。実証試験を開始するにあたり、実証試験中に水管理上の不具合が発生しないように配慮した。具体的には、本管ではなく、バイパス水路の減圧弁において実証試験を行った (図 37)。さらに、既存の配管を温存して、

バイパスを配管した。よって、減圧弁のパイロット弁の自動洗浄は、既設の管路で実証試験し、バイパスが実際の水管理のための制御を行うようにした。このような配慮でバイパスを配管したため、**図 37** のように実証試験では配管が非常に複雑となっている。次年度への課題として、よりコンパクトな配管にして管理性能を向上させる必要がある。

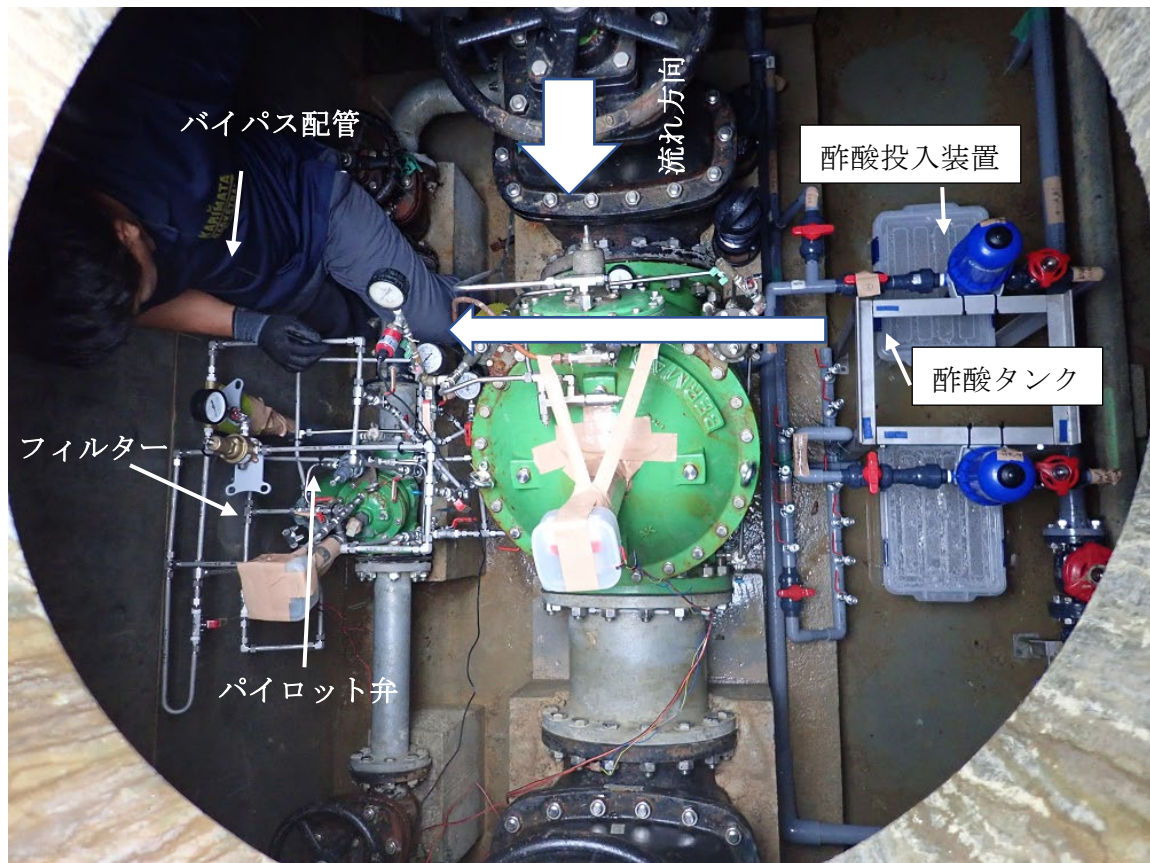


図 37 減圧弁のパイロット弁の酢酸投入装置

図 37 に示すように、自動洗浄装置は、酢酸投入装置が目詰まりしないように毎日深夜に一度の逆流洗浄を行い、排泥工へ排水する仕組みである。

現地実証試験では、減圧弁を制御するパイロット弁とそのフィルターの洗浄効果を確認した。洗浄条件は、酢酸は 0.9%重量濃度を選定し、洗浄時間 10 分間を 1 週間に 1 度行った。12 月 26 日に試験を開始し、約 1 か月後のフィルターとパイロット弁内部の写真を撮影した。

図 38 に示すように、ディスクフィルターは、試験開始前は、藻が厚さ約 5 mm の層で付着していたが、1 か月後は付着している藻は疎らになり、大きな削減効果が見られた。他方、パイロット弁の内部の部品であるプランジャにおいては有意な差が確認できなかった。今後、機能監視を継続して評価する。



図 38 0.9%酢酸による洗浄試験によるフィルターとパイロット弁の内部の変化の様子

問題点として、自動化の方法が挙げられる。現時点では、制御を行っているパイロット弁とそのフィルターへ、酢酸を押し込む圧力が不足しているため投入することができない。次年度への課題として、自動で弁を切り返える仕組みを構築し、洗浄剤投入の自動化する改良案を検討する。

b) 圧力変動緩和装置による疲労破壊対策技術

多良岳地区の現地実証試験地区における漏水事故の推移は、表 9 に示す通り減少した。漏水事故が 1 件発生したが、漏水事故低減率は 6 倍だった。ただし、この漏水事故発生個所は、図 39 に示すように、圧力変動緩和措置よりも標高が約 30m 低い箇所にあるために管内水圧が大きく、圧力変動緩和装置で削減した圧力水頭の恩恵がない場所であった。このように標高の高低差が大きな地区では、圧力変動緩和装置の効果が期待しづらいため、減圧弁を適切な場所に設置して減圧をする必要がある。

表 9 多良岳地区の現地実証試験地区における漏水事故件数

年度	上花取線	西花取線
H28	0件	3件
H29	3件	4件
H30	0件	1件

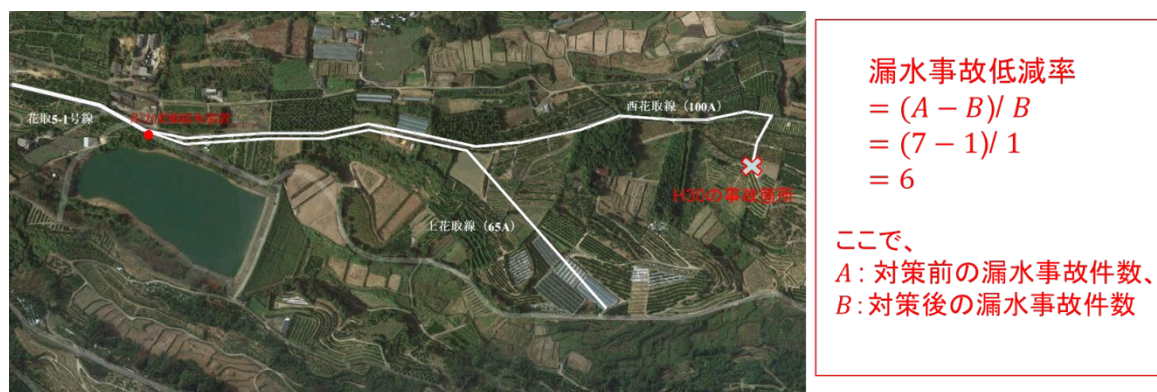


図 39 多良岳地区の圧力変動緩和装置の設置場所と漏水事故発生個所の位置関係

他方、宮古島地区の現地実証試験地区における漏水事故のこの3年間1件のまま変化がなかった。よって、漏水事故低減率は0のままであった（表 10 と図 40）。

表 10 宮古島地区の現地実証試験地区における漏水事故件数

年度	シラカネ地区
H28	1件
H29	1件
H30	1件



図 40 宮古島地区の圧力変動緩和装置の設置場所と漏水事故発生個所の位置関係

平成 29 年度の調査において、多良岳地区では、水圧変動の振幅を 84%減衰し、変動の継続時間を 49%短縮した。他方、宮古島地区では、水圧変動の振幅を 76%減衰し、変動の継続時間を 81%短縮した。しかし、今年度の実証試験では、農家が給水栓を閉めた際に発生する水撃圧が依然として大きく、圧力の緩和に不安定な状況が確認されたため、エアーチャンバーの圧力と容量の変更を行った。具体的には、平成 30 年 11 月 30 日にエアーチャンバーの圧力を 0.33MPa から 0.4MPa に上昇させ、平成 30 年 12 月 14 日に容量を 36L から 54L に増加した。その後、平成 31 年 2 月 6 日に、確認試験を実施した。試験は、給水栓を 5 秒間で全開にし、5 分後に給水栓を 5 秒間で閉塞する際の水圧を計測するものである。その結果、給水栓の開放時の圧力降下が 27%減衰し、閉塞時の圧力

上昇を 22%減衰し、変動の継続時間においては変化が見られなかった（図 41）。昨年よりも大幅に性能が低下した結果となった。機能監視においては、計測方法の再検討を行うとともに、より性能を向上させるために、エアーチャンバーと本体との接続面積を増やすなどして、再度、対策を施す計画である。

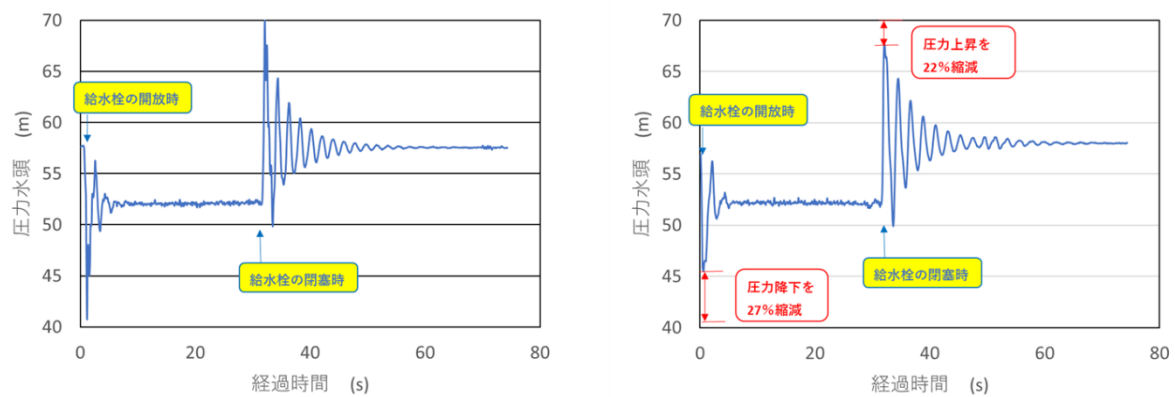


図 41 多良岳地区におけるエアーチャンバー未使用時（左）と使用時（右）の圧力変動の違い

また、宮古島地区の圧力変動緩和装置についても、実証試験において設置前と比べて水撃圧の減勢効果が見られなかった。そのため、11 月 14 日に逆止弁の形状変更とバネ付きの構造に変更した。12 月 26 日にエアーチャンバーの圧力を 0.33MPa から 0.4MPa へ変更した。その後、同日中に確認試験を行った。確認試験は、図 42 に示す 2 つの給水栓を A と B とすると、試験①では、給水栓 A を開放してから 5 分後に閉塞した。同様に、試験②では給水栓 B を開放してから 5 分後に閉塞した。試験③では給水栓 A 開⇒給水栓 B 開⇒給水栓 A 閉⇒給水栓 B 閉の順で操作を行った。



図 42 宮古島地区の実証試験地区における給水栓と圧力変動緩和装置の位置

その結果、エアーチャンバーを使用した場合と未使用の場合では、圧力変動の緩和効果の有意な変化が見られなかった（図 43）。

昨年度の圧力変動緩和装置の設置前と設置後では、静水压の値が変化していたために、基準となる圧力水頭が異なったために、正しく圧力の減勢した割合を評価できていなかった可能性が考えられる。機能監視において、エアーチャンバーの容量を再検討して対策を施す計画である。

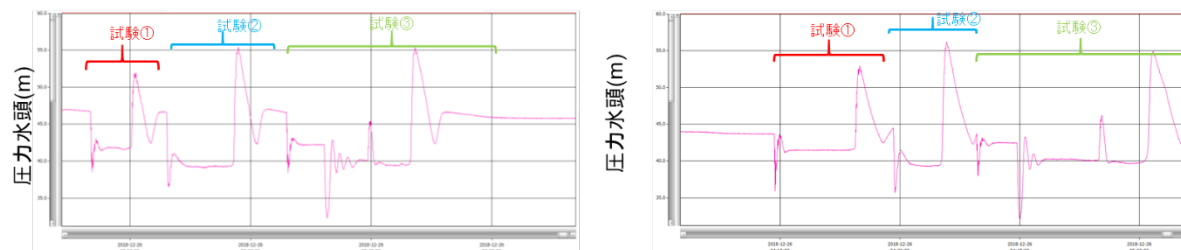


図 43 宮古島地区におけるエアーチャンバー未使用時（左）と使用時（右）の圧力変動の違い

4) 小口径高圧パイプラインの漏水事故対策に関するマニュアル（案）の作成

モニタリングスポットによる漏水状態の点検技術のマニュアル「マンホール型漏水モニタリング施設の設置マニュアル」を作成した。また、圧力変動緩和装置の設置マニュアル「農業用塩ビ管水路の長寿命化を図るための圧力変動緩和装置の設置マニュアル」の改訂中である。さらに、簡単に圧力を監視する手法のマニュアルとパイロット弁の自動洗浄技術のマニュアルについても、作成中である（表 11）。

表 11 平成 30 年度のマニュアル作成スケジュール

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
簡単に圧力監視する手法										概要, 装置の構成 使用方法, 試験方法 など執筆		
モニタリングスポット 点検・診断										ブラシ アップ 校正		
パイロット 弁の自動 洗浄										概要, 試験方法 評価など執筆		
圧力変動 緩和装置											改定	

平成 30 年 12 月 19 日から 20 日において、「農業用塩ビ管水路の長寿命化を図るための圧力変動緩和装置の設置マニュアル」と「マンホール型漏水モニタリング施設の設置マニュアル」の説明を、沖縄総合事務局、土地改良総合事務所、宮古支所、宮古伊良部農業水利事業所、沖縄県土連、羽地大川土地改良区、および沖縄本島南部土地改良区において行った。

1. 8 機能監視の概要、結果、課題等

1) 簡単に管内水压を監視する手法の開発

漏水事故を検出するアルゴリズムについて、実証試験において作成したものに修正を加え、漏水検知結果が管理者に伝達する仕組みを付加した。

その修正は、機械学習を用いて何かしらの特徴量によって圧力変動パターンを分類して、漏水を検出するアルゴリズムである。パイプラインの水利用は需要主導型であるため、毎日の圧力変動は、農家が給水栓を操作することによって生じるはずである。農家が給水栓を操作した際に意思決定の要因となった情報によって、圧力変動のパターンは分類されると仮説を立て、その情報を特徴として機械学習を実施した。この仮説がある程度の優位性があれば、特徴量で分類された圧力変動パターンに異常があった際に、その異常は漏水ではないかと予測する。機械学習のアルゴリズムは、多種類のニューラルネットワーク、決定木、ランダムフォレストツリー、およびサポートベクトルマシンなどの教師あり学習を比較検討した。特徴量として2日間の天気、曜日、および月ごと単位などを使用した（図44）。

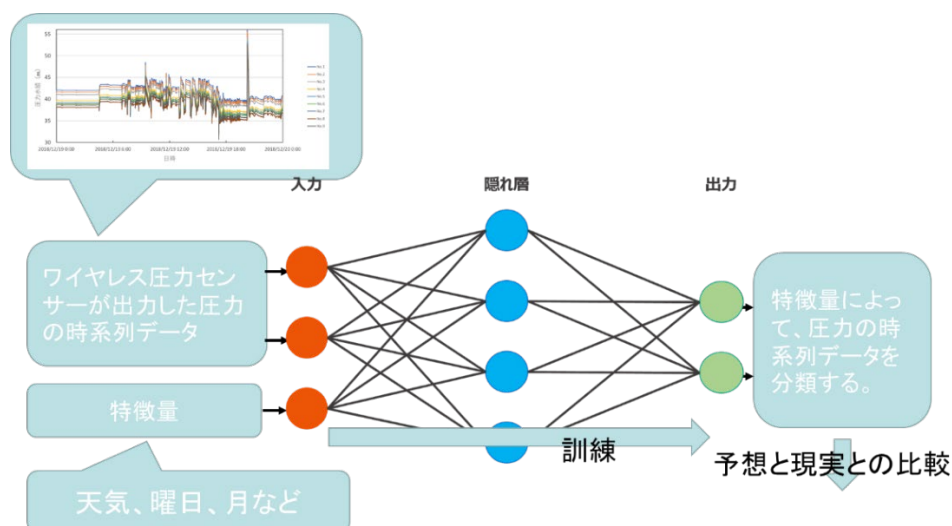


図44 機械学習を利用して漏水検知を行うアルゴリズム

それぞれのアルゴリズムと特徴量で学習した後に、テストデータで推定した結果、「当日の天気予報」を特徴量として利用した場合に、圧力の時系列データは精度良く分類できることが分かった。アルゴリズムはどれも同程度の性能であった。表12に決定木による計算結果を示す。よって、この学習済みモデルを用いて、実際の「当日の天気予報」と異なる推測結果が出た際に、漏水の可能性が高いと判断される。

表12 決定木によって圧力変動パターンの分類に利用した特徴量とテスト正解率

特徴量	テスト正解率
当日の天気	78%
前日と当日の天気	64%
曜日ごと	53%
月ごと	51%

漏水の可能性が高いと判断された際に、管理者に電子メールを送信したり、PCがビープ音を発信したりして、異常を伝達する（図45）。



図45 管理者へ漏水を知らせる仕組み

土地改良区職員の評価では、幹線水路の流量計が漏水を検知した場合、漏水位置を特定するために、全支線水路を巡回する必要があったが、漏水が心配される範囲に設置することで、漏水位置を特定の省力化が期待できると評価された。

2) 漏水事故の原因を診断する技術の開発

b) モニタリングスポットによる破損原因の診断技術

実証試験において、照明が当たって明るい箇所と暗い箇所ができるという問題点が発生したので、対策として、高画質の SONY 製アクションカメラの選定を行った。また、選定したアクションカメラ専用のカメラカプセルを製作し、カメラと光源が適切な位置になるように調整を行った（図 46）。

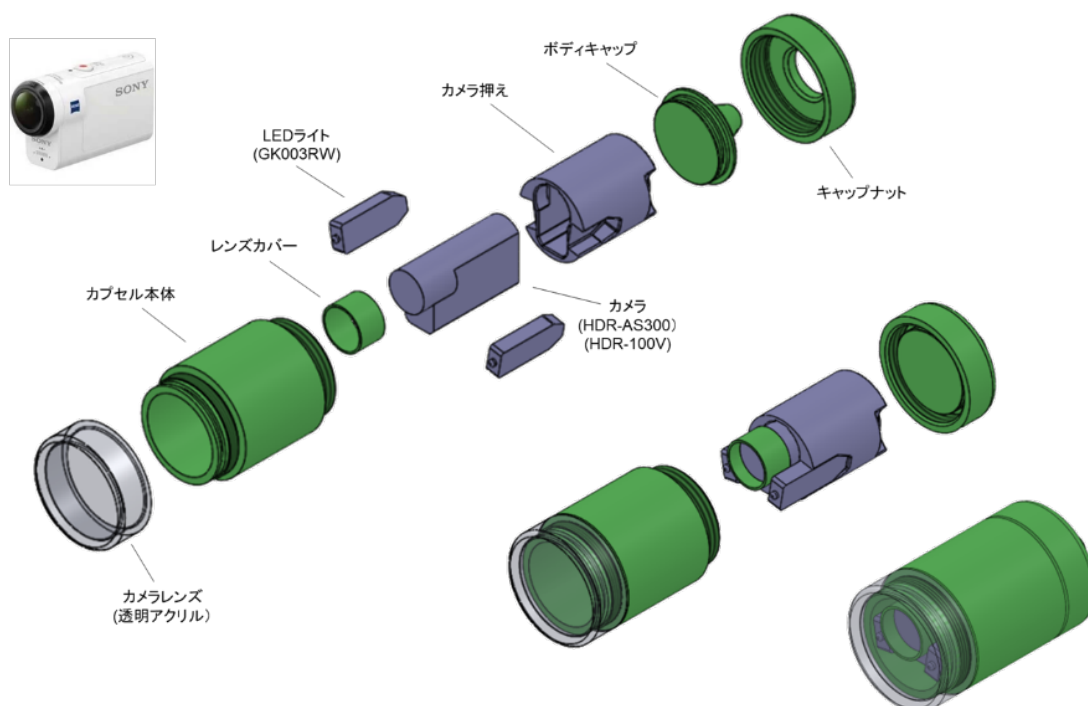


図 46 選定したアクションカメラと光源専用のカメラカプセル

また、一般的な農業用水の濁度に調整した水の中で、初期の漏水事故のき裂が撮影可能であるか検証するために、ナイロン製粒子（直径 4.1 マイクロメートル、密度 1.02g/cc）によって濁度(ppm)を調整して、初期漏水時における一般的な長さのき裂を撮影した。その結果、農業用水の一般的な濁度である濁度 10 以下であれば、初期漏水時のき裂を検知することが可能であることを確認した。

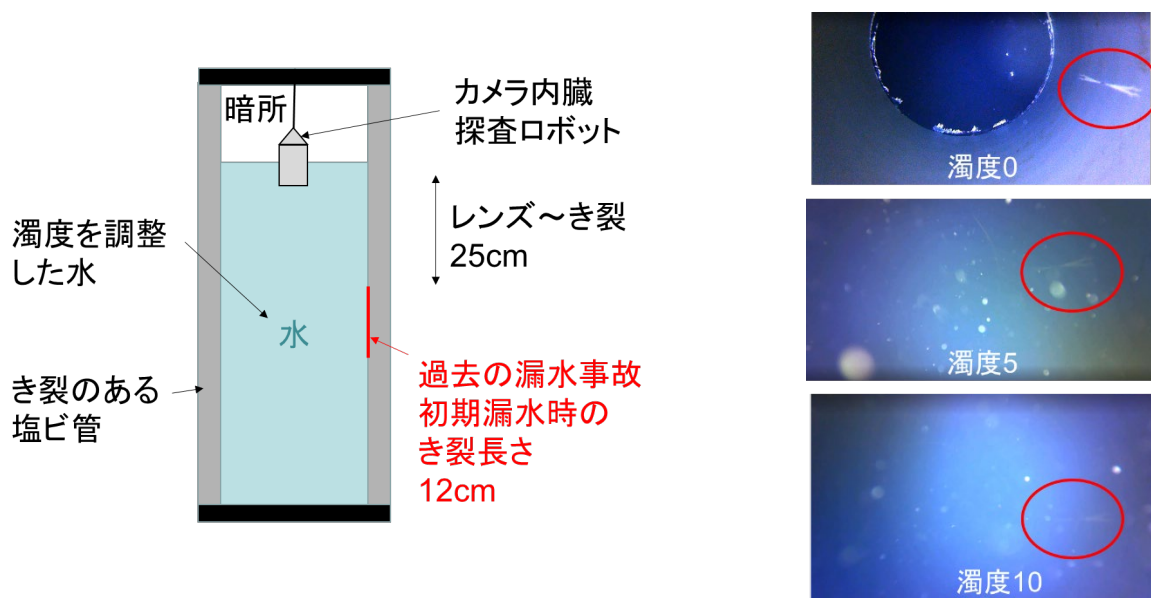


図 47 探査ロボットのき裂検出性能の検証試験（左図）と撮影画像（右図）

3) 漏水事故を引き起こす水理現象の対策手法の開発

a) 減圧弁のパイロット弁の自動洗浄装置による疲労破壊対策技術

減圧弁のパイロット弁の自動洗浄装置が正常に動作していることを確認した。また、ディスクフィルターとパイロット弁の内部の部品であるプランジャの洗浄効果が持続していることも確認した。実証試験で効果が不明であったプランジャは、スケールが除去されていることを 10 月に確認した。また、問題点として挙げられていた自動化の方法については、Arduino で自動弁を制御して、洗浄液の注入を自動で行える仕組みを構築し、正常に動作していることを確認した。さらに、これらの配管をより整理して減圧弁の制御系をコンパクトにした（図 48）。

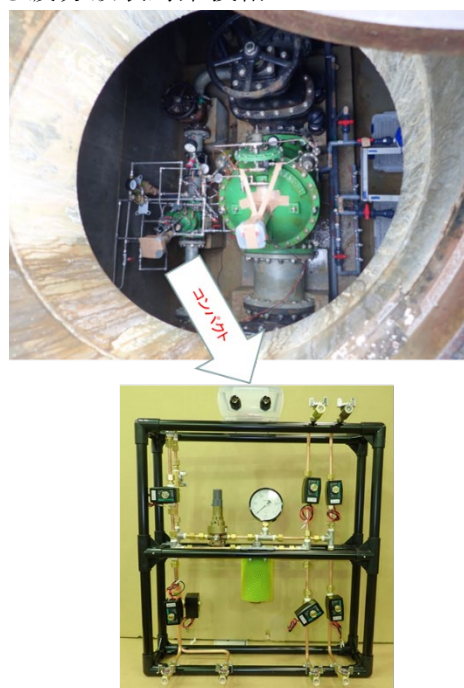


図 48 据え置き型のパイロット弁自動洗浄装置

b) 圧力変動緩和装置による疲労破壊対策技術

昨年度の実証試験では、一昨年の結果に対して性能の劣化が見られた。その原因として、これまで正しく圧力の減勢した割合を評価できていなかった可能性が考えられた。機能監視では、エアーチャンバーの容量を増量して、その効果を確認した。佐賀県多良岳地区では、エアーチャンバーの容量を変更（54L ⇒ 90L）後、確認試験を行った。その結果、給水栓の開放時の圧力降下が53%軽減し、閉塞時の圧力上昇を45%軽減する効果を確認した（図49）。ただし、機能監視時に漏水事故が上花取にて1件、西花取にて1件発生した。

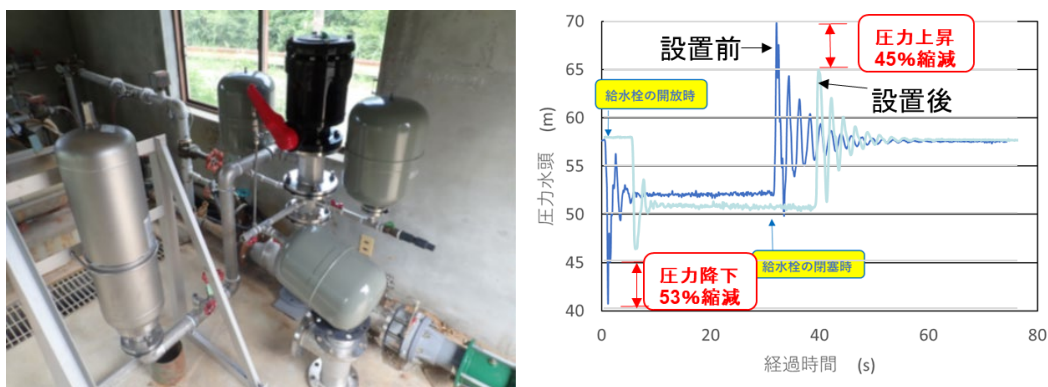


図49 佐賀県多良岳地区における圧力変動緩和装置の設置例とその効果

また、沖縄県宮古島地区においても同様に、エアーチャンバーの容量を変更（36L ⇒ 180L）後、確認試験を実施した結果、給水栓を閉めた時に減圧弁の応答が遅いことが原因で二次圧が一次圧を引き継ぐという圧力上昇についても、50%の軽減効果があることを確認した（図50）。ただし、機能監視時に漏水事故が宮古島地区にて1件発生した。

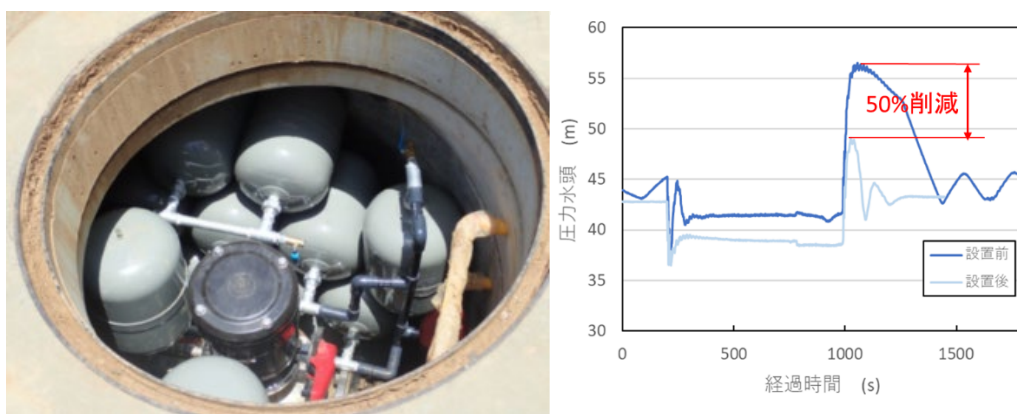


図50 沖縄県宮古島地区における圧力変動緩和装置の設置例とその効果

塩ビ管に作用する最大内水圧と破壊に至るまでの回数の関係は、Visnson の実験式に整理されている。この式を用いて、圧力の軽減率から破壊に至るまでの回数がどの程度伸びたかを評価すると、佐賀県多良岳地区は 1.43 倍、沖縄県宮古島地区では 1.96 倍であった。

2 事業の成果

2. 1 成果の内容

本事業では、表 13 に示しように 3 つの研究課題があり、それぞれに対して特許出願やマニュアル作成を実施し、普及に向けた取り組みを行った。

表 13 本事業における研究課題とその成果一覧

研究課題	研究開発項目
①管内水圧を監視する技術	①-1 ワイヤレス可搬型 CPM システム
②管と附帯施設の状態を点検し、漏水の原因を診断する技術	②-1 不断水で、空気弁からカメラカプセルを投入・回収して管内を観察する装置
	②-2 モニタリングスポットによる破損原因の診断技術
③漏水原因を解決する予防・対策技術	③-1 減圧弁のパイロット弁の自動洗浄装置による疲労破壊対策技術
	③-2 圧力変動緩和装置

2. 2 目標の達成度

(1) 成果から得られる効果

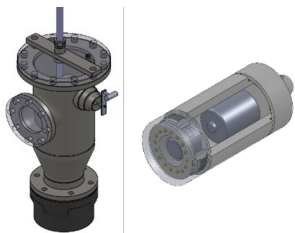
小口径管では管内を点検することが困難であるため、破損個所の位置や変状を把握することが困難であった。本事業では、①漏水事故の兆候を監視、②管と附帯施設の状態の点検、③漏水事故の可能性と原因の診断、および④漏水予防対策を行う維持管理方法を提案し、それぞれの研究課題について技術を実装することによって、この小口径管路の維持管理方法を実現でき、管理者が容易に行えるように支援することができる。

(2) 従来技術との比較

①-1 ワイヤレス可搬型 CPM システム

	新技術	比較する従来技術 (当初の工法・標準案)	比較の根拠
概要図			https://www.hitachi.co.jp/New/contents/month/2019/04/0425.html
工法名	ワイヤレス可搬型CPM (Computational Pipeline Monitoring) システム	水道管の漏水などを高精度で早期に検知するシステム	
経済性(直接工事費)	ワイヤレス圧力ゲージを設置することで自動でワイヤレスネットワークを構築。 センサー 15万円、ゲートウェイの設置費用 約40万円、太陽光パネル設置、クラウド構築 約150万円 ゲートウェイの通信費のみ必要で、センサー同士の通信費用は0円。(概算1500万円)	2020年度にサービス提供予定。対象は、都市部の老朽化した水道管。センサー約8~10万円 各センサーに通信費が必要。別途、監視サーバーの設置や管理費用が必要。	概算 約 1500万円 ワイヤレス圧力ゲージ 50台 15 ワイヤレスゲートウェイ 1台 40 太陽光発電システム 1式 150 データロガー、クラウド通信機器 1式
工程	1センサー30分程度で設置可能	マンホールがあれば、1センサー5分程度で設置可能	
品質	バッテリー寿命 約10年。最大5年間の保証延長が可能	バッテリー寿命5年間	
安全性	計測対象が水圧であるため安全	計測対象が振動であるため安全	
施工性	地中埋設、マンホール開閉は不要	計測ポイントにマンホールが必要	
周辺環境への影響	影響なし	影響なし	

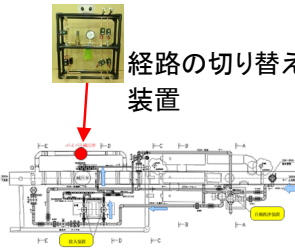
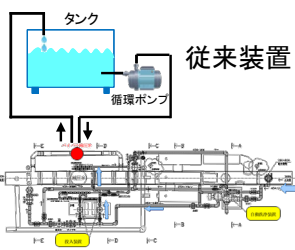
②-1 不断水で、空気弁からカメラカプセルを投入・回収して管内を観察する装置

	新技術	比較する従来技術 (当初の工法・標準案)	比較の根拠
概要図			芳賀台地と河北潟地区における調査関係者からの聞き取り
工法名	不断水で、空気弁からカメラカプセルを投入・回収して管内を観察する装置	管内ビデオ撮影ロボット	
経済性(直接工事費)	不断水で、空気弁からカメラカプセルを投入・回収できる。 △ 投入回収装置、カメラカプセル・カメラ、空気弁、補修弁一式の調査費用 50万円(ただし、宿泊・交通費、現場技術料別)	断水と排水を行った後、投入口用に開削と管路切断をして初めてカメラロボットを投入できる。 ×□ 管路の掘削、管内ビデオ撮影ロボットによる調査費用一式 150万円	
工程	空気弁の管理弁を閉めて、空気弁を外して投入・回収装置を設置し、カメラカプセルを投入・回収する。回収後に録画を確認して内部監察する。 ○	断水・排水後に、埋設管を開削・切断して、カメラロボットの投入口を作り、カメラロボットを投入する。モニターを見ながら、内部監察できる。 ×	
品質	口径:150Aから300A、距離:200m ○	口径:200Aから650A、距離:80m △	
安全性	安全である。	安全である。	
施工性	不断水で行えるので、容易である。数回繰り返す必要がある。 ○ 作業時間:約3時間(設置、調査、撤去)	断水・排水・掘削工事が必要である。 × 作業時間:3日間(掘削、調査、現況復帰)	
周辺環境への影響	道路交通量が多い場合は、警備員の確保が必要である。 ○	道路交通量が多い箇所では、掘削工事が困難である。警備員の確保が必要である。 ○	

②-2 モニタリングスポットによる破損原因の診断技術

	新技術	比較する従来技術 (当初の工法・標準案)	比較の根拠
概要図		なし	
工法名	マンホール型漏水モニタリング施設		
経済性(直接工事費)	(470万円)		
工程	漏水箇所の位置を特定することができる。また、漏水事故の原因を究明することができる。		
品質	配管はステンレス製であるため、腐食の心配がない。		
安全性	安全である。		
施工性	マンホールを設置し、カメラカプセルの納入回収口を設置する。さらに、圧力計、流量計、土圧計、ひずみゲージを設置する。		
周辺環境への影響	道路交通量が多い箇所では、施工時や使用時に警備員が必要な場合がある。		

③-1 減圧弁のパイロット弁の自動洗浄装置による疲労破壊対策技術

7. 従来技術との比較	新技術	比較する従来技術 (当初の工法・標準案)	比較の根拠
概要図			
工法名	減圧弁のパイロット弁の自動洗浄装置	配管系の自動洗浄装置	
経済性(直接工事費)	減圧弁の上流側にあるフィルターの差圧を利用して、パイロット弁とフィルターを「0.09%酢酸」で洗浄する。この装置を2台利用して、洗浄時の制御も行える。(485万円)	本体のポンプで専用液で洗浄する。本体とパイロット弁やフィルターへの接続と洗浄時に制御するバイパスの経路が必要となる。自動で切り替えるための装置も別途必要。(約730万円)	
工程	減圧弁の1次側に自動洗浄装置を設置する。自動洗浄装置と酢酸投入装置を接続する。酢酸投入装置と経路切り替え装置を接続し、排水経路を確保する。	減圧弁の1次側に自動洗浄装置を設置する。自動洗浄装置と経路切り替え装置を接続し、排水経路を確保する。	
品質	フィルターの藻とパイロット弁のプランジヤの石灰スケールを洗浄可能	石灰スケールを洗浄可能	
安全性	安全である。	安全である。	
施工性	自動洗浄装置、酢酸投入装置、制御系の切り替え弁、排水経路は、すべて塩ビ管で配管可能である。	自動洗浄を行うためには、用水の確保、制御系の切り替え、排水経路の確保などを別途行う必要がある。	
周辺環境への影響	酢酸は0.09%であり、問題なし	専用洗浄液は自然分解性である。	

③-2 圧力変動緩和装置

	新技術	比較する従来技術 (当初の工法・標準案)	比較の根拠
概要図	 圧力変動緩和装置の構成及び設置例	なし	
工法名	圧力変動緩和装置		
経済性(直接工事費)	本体、エアチャンバー、逆止弁、空気弁で構成されるコンパクトタイプ(150万円)		
工程	塩ビ管の疲労破壊の原因が、給水栓の閉塞によって発生する水撃圧であると推測できる際に利用する。エアチャンバーの容量と圧力の大きさは現地の状況に依存する。		
品質	圧力上昇の45%縮減し、塩ビ管の疲労破壊の寿命を1.5～2倍延長する。		
安全性	安全である。		
施工性	近くに建屋(ポンプ施設、減圧弁室、液肥投入施設等)がある場合は、利用を検討する。近くに無い場合は、設置用のマンホールを新設する。		
周辺環境への影響	なし。		

3 普及活動計画

3. 1 想定される利用者

- 1) 土地改良区
- 2) 都道府県市町村の農村整備課
- 3) 土地改良事業団体連合会

3. 2 利用者への普及啓発等の方法

- 1) 地方農政局土地改良技術事務所で開催される新技術説明会へ参加を申込
- 2) 都道府県の地方振興局等で説明会を実施する
- 3) 戸別訪問
- 4) 新技術登録制度の活用

3. 3 利用者に対するサポート体制、参考資料等

- 1) 現地調査
- 2) 設置場所の検討
- 3) 図面等
- 4) 資料は報文の抜刷等

3. 4 特許・実用新案等の申請予定

研究開発項目	申請者予定者	申請予定時期
①-1 ワイヤレス可搬型 CPM システム	日本エマソン・農研機構	R2.9 月 申請予定
②-1 不断水で、空気弁からカメラカプセルを投入・回収して管内を観察する装置	旭有機材・農研機構	R1.9 月 出願済
②-2 モニタリングスポットによる破損原因の診断技術	旭有機材・農研機構	H29.7 月 出願済
③-1 減圧弁のパイロット弁の自動洗浄装置による疲労破壊対策技術	旭有機材・農研機構	R2.5 月 申請予定
③-2 圧力変動緩和装置	旭有機材・農研機構	H28.8 月 出願済

4 研究総括者による自己評価

①-1 ワイヤレス可搬型 CPM システム

審査のポイント	着眼点	申請時計画目標 ^{注1}	自己評価 ^{注2}	自己評価の理由 ^{注3}
目標の達成度	・ 効果 (従来技術に対する優位性)	・ 漏水区間の発見や附帯施設の不具合を検知する。	C : 不十分	現地実証試験地区において実際に漏水事故が無かったので評価できなかった。

	・信頼性 (品質、精度、安全性、耐久性等)	・記載なし。	B：概ね妥当	バッテリー駆動で10年稼働する。機械学習の精度は高い。
	・適用範囲・適用条件等	・見通し 200m 以内にセンサーが位置するように配置。	A：広範囲に適用	目的とする範囲を十分にカバーできる。
普及の可能性	・想定される利用者への普及啓発の方法	・戸別訪問や講習会での PR 活動。	B：概ね妥当	IoT の流行に乗っている事案である。
	・利用者に対するサポート体制 (設計・積算・施工等の参考資料、相談窓口等)	・マニュアル作成	C：改善が必要	マニュアル作成済。
総合コメント 注4	当初目標をおおむね達成した。			

②-1 不断水で、空気弁からカメラカプセルを投入・回収して管内を観察する装置

審査のポイント	着眼点	申請時計画目標 ^{注1}	自己評価 ^{注2}	自己評価の理由 ^{注3}
目標の達成度	・効果 (従来技術に対する優位性)	・人が入ることのできない小口径管路内の漏水の位置や管内の変状を観察する。	A：優れている	数度の現地実証試験によって、管内の観察が可能となった。
	・信頼性 (品質、精度、安全性、耐久性等)	・記載なし	B：概ね妥当	現時点でも観察が出来るが、今後カメラや LED の性能向上がさらに見込まれる。

	・適用範囲・適用条件等	・小口径管路	B：概ね妥当	現地実証試験では、口径150Aから300Aにおいて適用した。
普及の可能性	・想定される利用者への普及啓発の方法	・戸別訪問や講習会でのPR活動。	B：概ね妥当	濁度10以下の平常時の農業用水であれば、実施可能である。
	・利用者に対するサポート体制 (設計・積算・施工等の参考資料、相談窓口等)	・マニュアル作成 ・部品交換費、現地出張費など有償となるが、対応。	B：概ね妥当	・マニュアル作成済。
総合コメント 注4	当初目標をおおむね達成した。			

②-2 モニタリングスポットによる破損原因の診断技術

審査のポイント	着眼点	申請時計画目標 ^{注1}	自己評価 ^{注2}	自己評価の理由 ^{注3}
目標の達成度	・効果 (従来技術に対する優位性)	・人が入ることのできない小口径管路内の漏水事故の原因を究明する。	A：優れている	現地実証試験地区の漏水事故原因を明らかにした。
	・信頼性 (品質、精度、安全性、耐久性等)	・記載なし	B：概ね妥当	。
	・適用範囲・適用条件等	・小口径管路(塩ビ管)	B：概ね妥当	現地実証試験では、口径100Aから300Aにおいて適用した。

普及の 可能性	・ 想定される利用者への普及啓発の方法	・ 戸別訪問や講習会での PR 活動。	B : 概ね妥当	。
	・ 利用者に対するサポート体制 (設計・積算・施工等の参考資料、相談窓口等)	・ マニュアル作成	B : 概ね妥当	マニュアル作成済。
総合コメント 注 4	当初目標をおおむね達成した。			

③-1 減圧弁のパイロット弁の自動洗浄装置による疲労破壊対策技術

審査のポイント	着眼点	申請時計画目標 ^{注1}	自己評価 ^{注2}	自己評価の理由 ^{注3}
目標の達成度	・ 効果 (従来技術に対する優位性)	・ 減圧弁の応答によって圧力脈動や圧力上昇が生じている場合は、パイロット弁を自動で洗浄することで解決する。	A : 優れている	沖縄県宮古島地区において、洗浄効果が発揮され、圧力変動が小さくなった。
	・ 信頼性 (品質、精度、安全性、耐久性等)	・ 記載なし。	B : 概ね妥当	制御系をよりコンパクトにしてメンテナンスしやすい。
	・ 適用範囲・適用条件等	・ 減圧弁を制御するパイロット弁とフィルターのみを洗浄する。	B : 概ね妥当	目標通りに成果を得ている。
普及の可能性	・ 想定される利用者への普及啓発の方法	・ 戸別訪問や講習会での PR 活動。	B : 概ね妥当	地下埋設の減圧弁には適している。

	・利用者に対するサポート体制 (設計・積算・施工等の参考資料、相談窓口等)	・マニュアル作成 ・部品交換費、現地出張費など有償となるが、対応。	C : 改善が必要	マニュアル作成済。
総合コメント 注 4	機能監視において、目標をおおむね達成したことを確認した。			

③-2 圧力変動緩和装置

審査のポイント	着眼点	申請時計画目標 ^{注1}	自己評価 ^{注2}	自己評価の理由 ^{注3}
目標の達成度	・効果 (従来技術に対する優位性)	・自動給水栓の急閉塞による水撃現象が生じている場合は、管内の圧力上昇を緩和する。	A : 優れている	約 1.5 倍から 2 倍の長寿命化に貢献できる減圧を達成している。
	・信頼性 (品質、精度、安全性、耐久性等)	・記載なし	B : 概ね妥当	本事業の研究機関において故障は発生しなかった。
	・適用範囲・適用条件等	・小口径管路で自動給水栓の急閉塞による水撃現象。	B : 概ね妥当	アキュムレーターの容量が計画当初よりも大幅に増加した。
普及の可能性	・想定される利用者への普及啓発の方法	・戸別訪問や講習会での PR 活動。	B : 概ね妥当	本事業の研究期間においても毎年 1 度講習会で PR した。
	・利用者に対するサポート体制 (設計・積算・施工等の参考資料、相談窓口等)	・マニュアルを作成 ・部品交換費、現地出張費など有償となるが、対応。	A : 十分に整備されている	マニュアルを作成済み。

総合コ メント 注 4	当初目標をおおむね達成した。
-------------------	----------------

5 今後の課題及び改善方針

今後の課題として、以下の 5 点を示す。

- ①小口径管の破損事故は増加傾向にあり、年間 70～100 件以上の事故が発生している宮古島や石垣島などにおいても、機能保全計画は依然として事後保全である。事故の多い地区において、予防保全の計画を策定できるように、戸別訪問、業界紙の報文・口頭の発表を通じて、開発した装置と施設の普及を提案する。さらに必要な装置があれば、開発を継続したい。
- ②ワイヤレス可搬型 CPM システムは漏水を検知するために開発したが、検知した圧力を、施設管理者のその他の日常業務（たとえば、灌水日や番水の監視など）に応用できないか検討を継続したい。
- ③漏水検知のアルゴリズムは、天候によって変化する農家の水利用の判断を利用したが、さらなる精度向上のために。土地利用や集積率などのデータも検討したい。ただし、利用しやすいデータを特徴量とする方針である。
- ④モニタリング施設によるパイプラインの機能監視は、今後の農村環境ネットワークに接続できるように LPWA の導入を検討したい。
- ⑤石垣地区の脈動現象と一ツ瀬川地区の保圧ポンプの ON・OFF 運転による圧力振動については、既存の装置や運転方法への更新によって解決可能であると判断したため装置開発は行っていないが、今後もこれらの現象に注視して、現象が改善されなかった場合は、問題解決に取り組みたい。

今後改善方針は、普及活動を通じて、現場の結果や反応を鑑みながら、個々の研究開発項目の性能向上を図っていく予定である。