

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

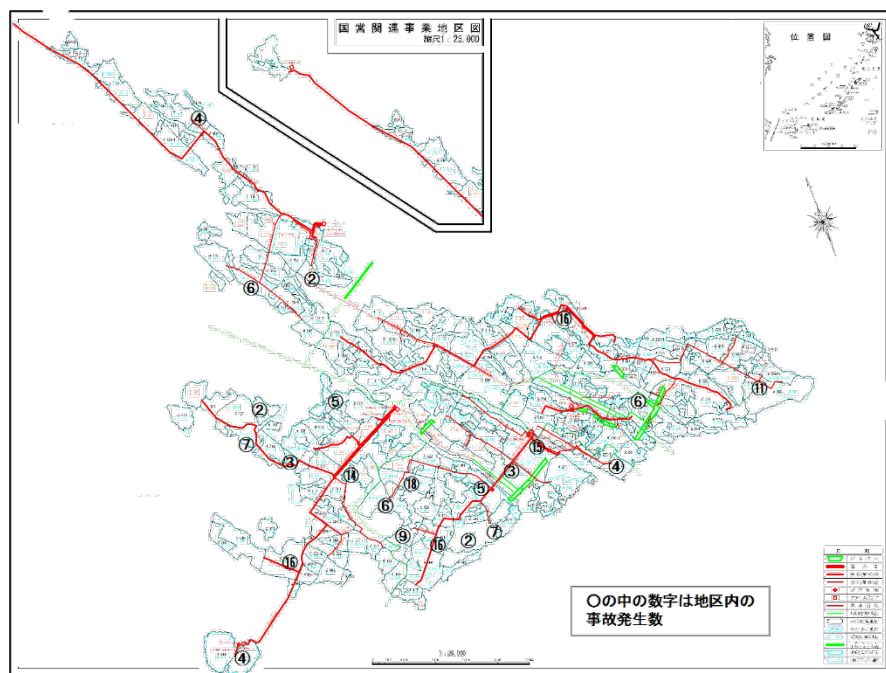


図 2 宮古島の農業用パイプラインの漏水事故発生分布

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。

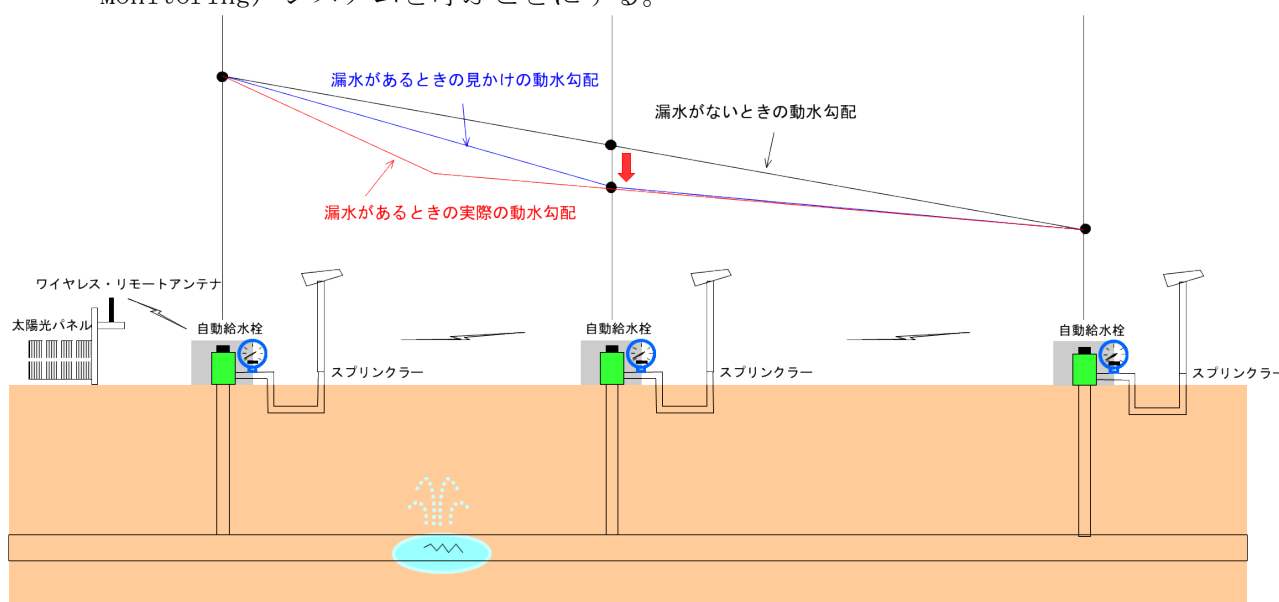


図3 ワイヤレス圧力センサーによる管内水圧の監視技術

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。

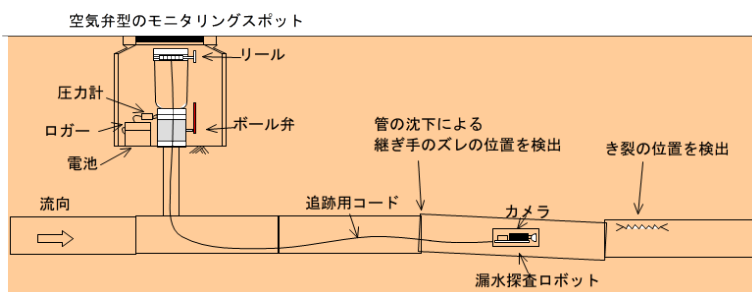


図4 モニタリング施設による漏水位置や状態の点検技術

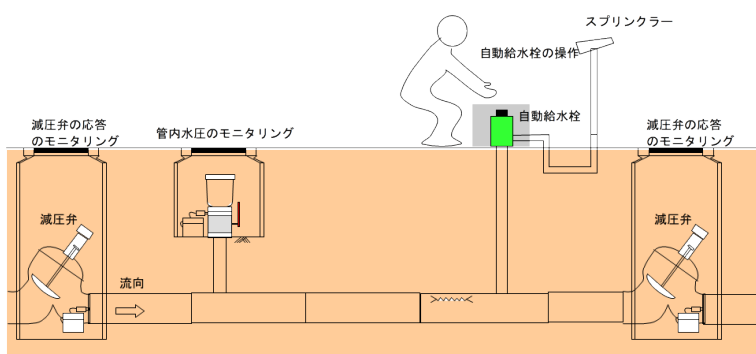


図5 モニタリング施設による破損原因の診断技術

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。

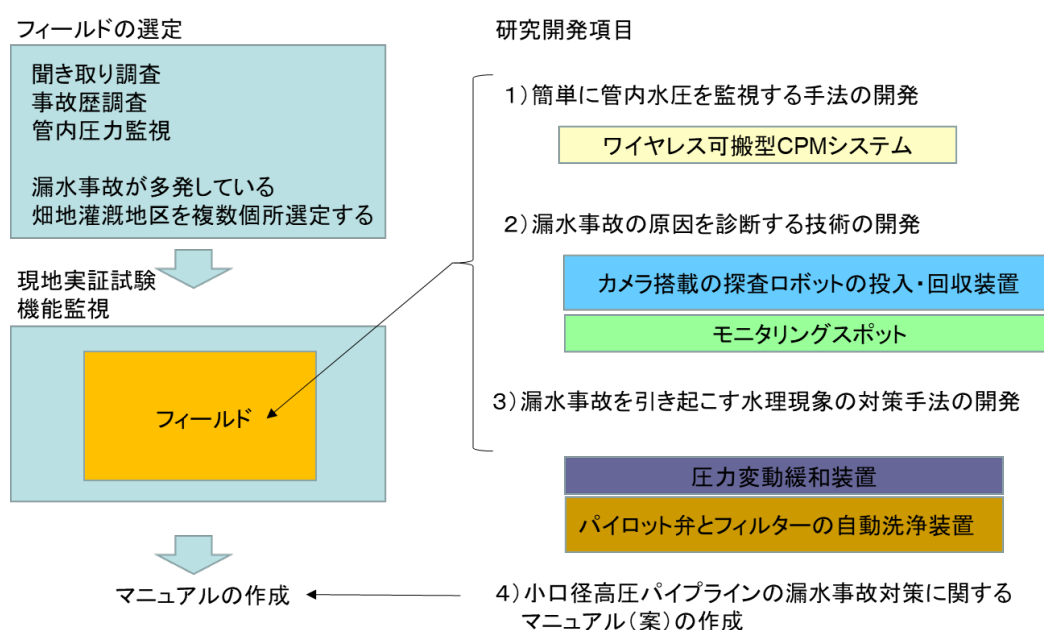


図 6 本研究開発の取り組みフロー

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。

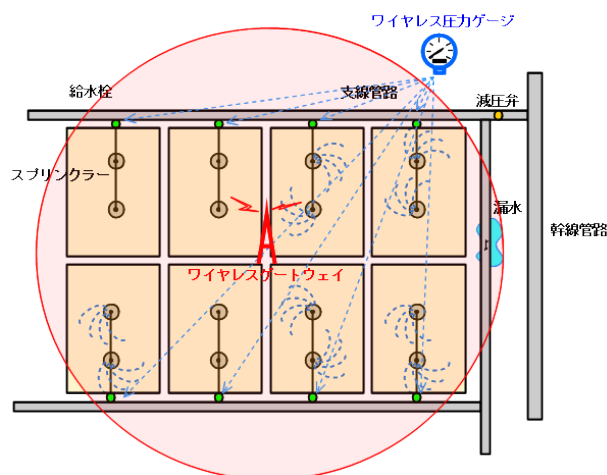


図 7 管内水圧を監視して漏水区間や附帯施設の不具合を検知する技術

(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。

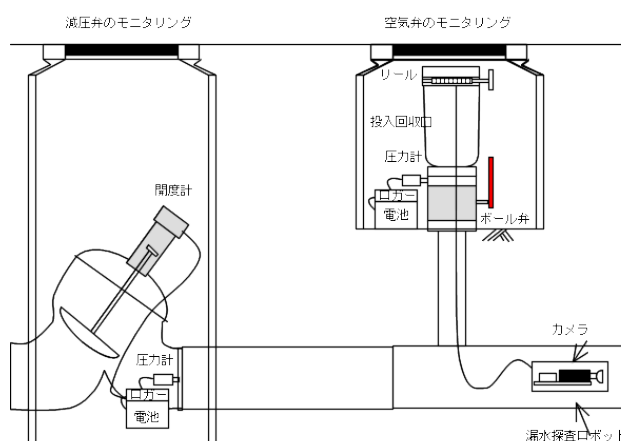


図 8 減圧弁と空気弁におけるモニタリング施設

(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。

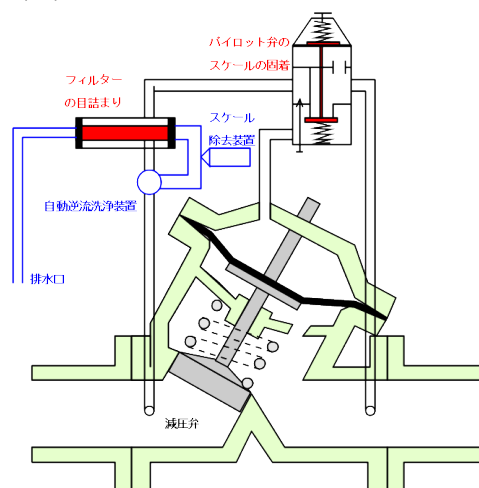


図 9 減圧弁の制御系の自動洗浄装置

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。

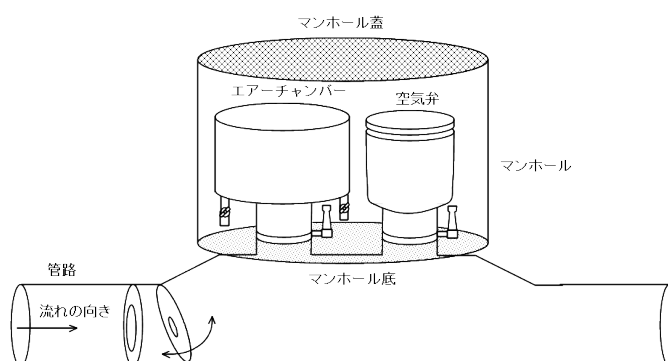


図 10 圧力変動緩和装置による疲労破壊対策技術

(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。

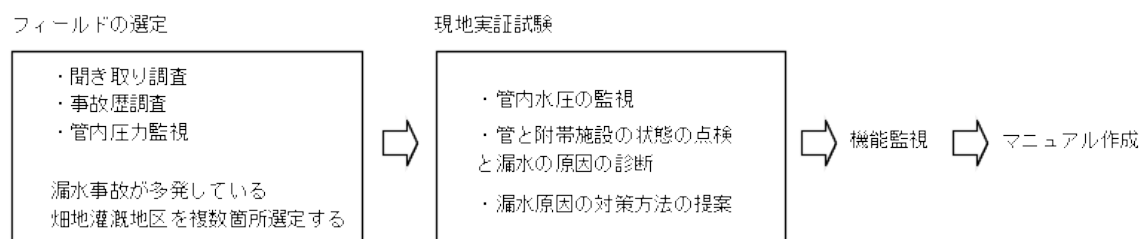


図 11 実証試験のフロー

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。

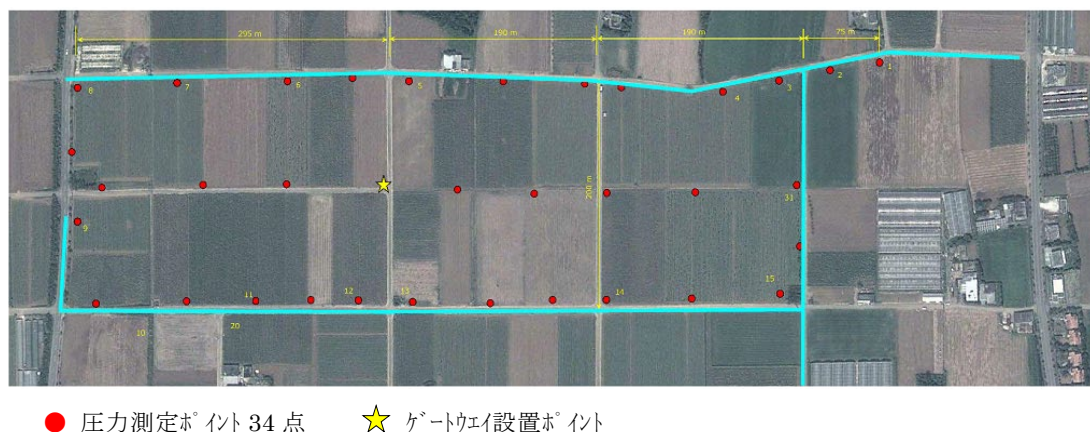
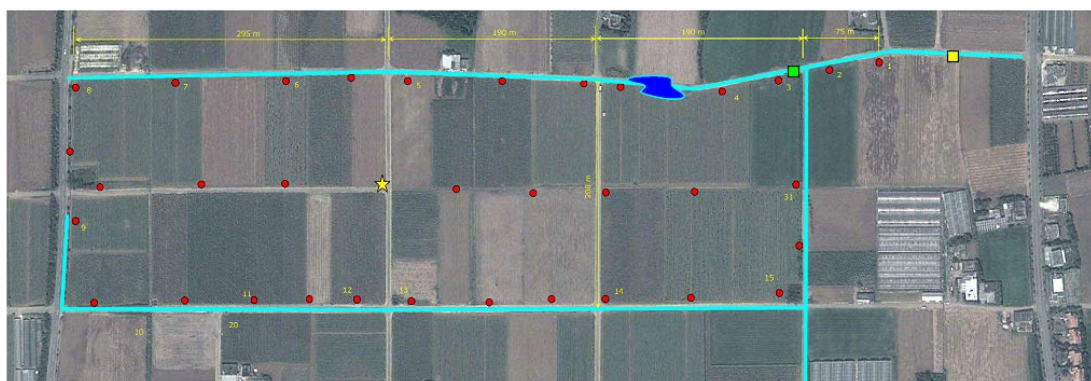


図 12 宮古島シラカネ地区で現地実証した際の圧力監視とゲートウェイの位置

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。

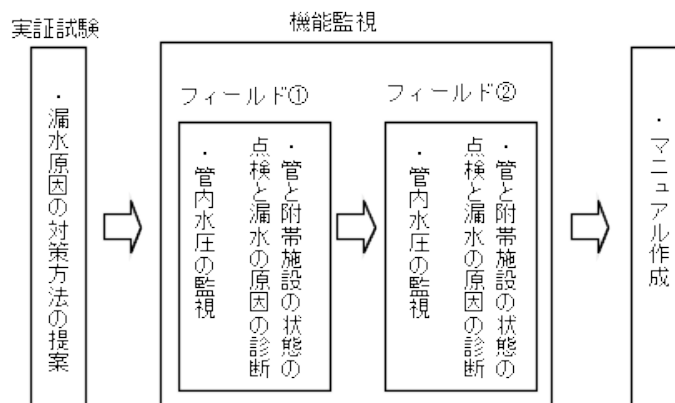


図 15 機能監視のフロー

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。