

	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

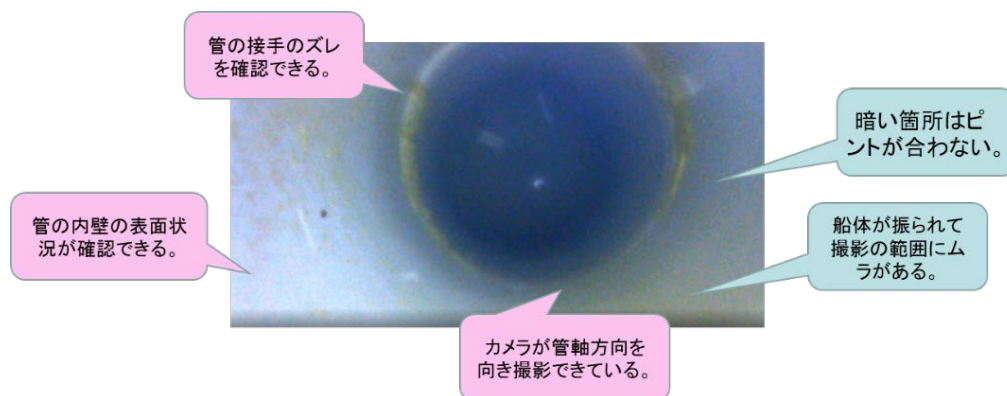


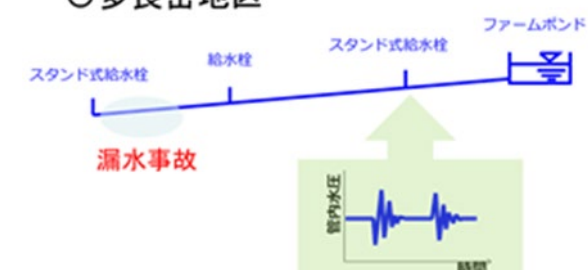
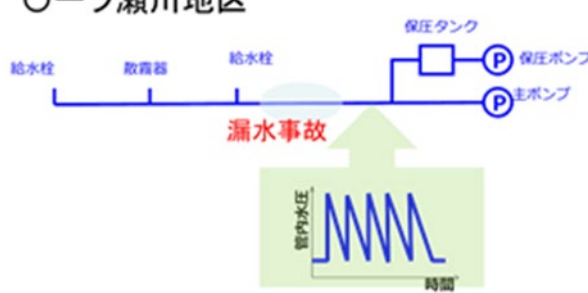
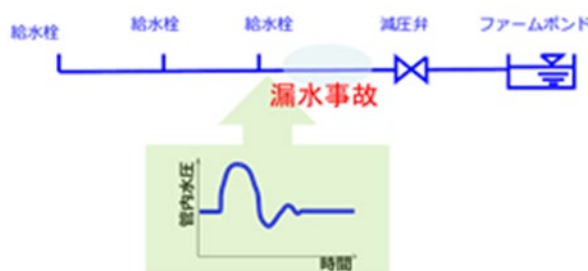
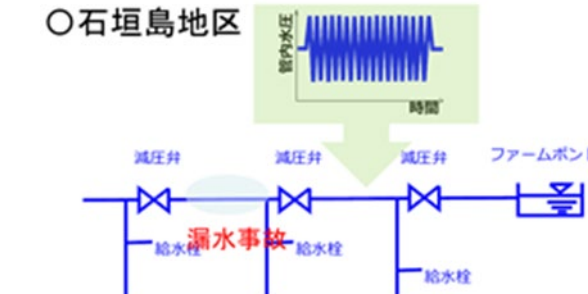
図 29 管内撮影画像の特徴

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。

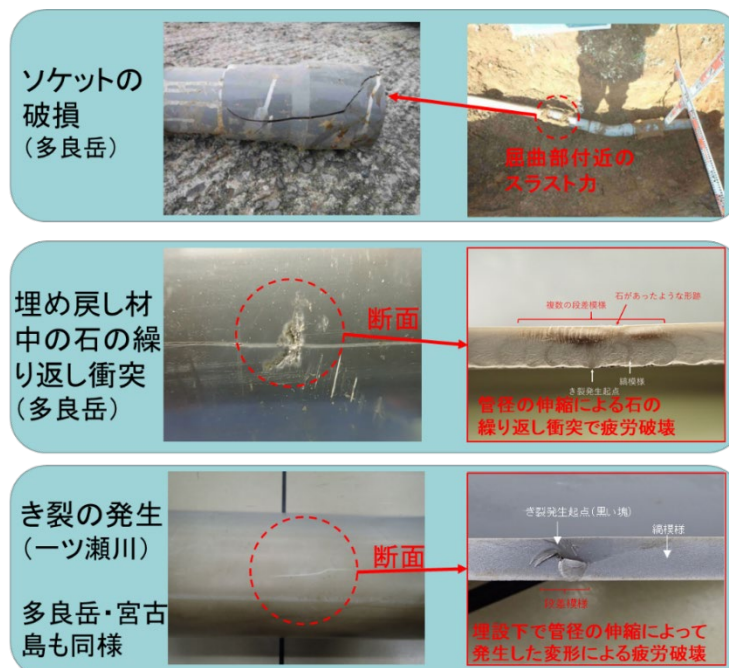


図 30 管の破損の形態

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

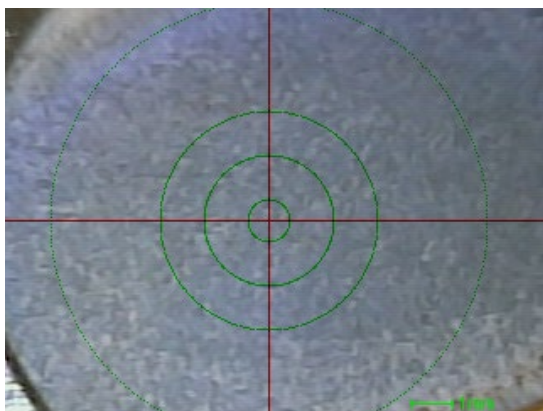


図 33 No.3 異物以外の箇所に照射

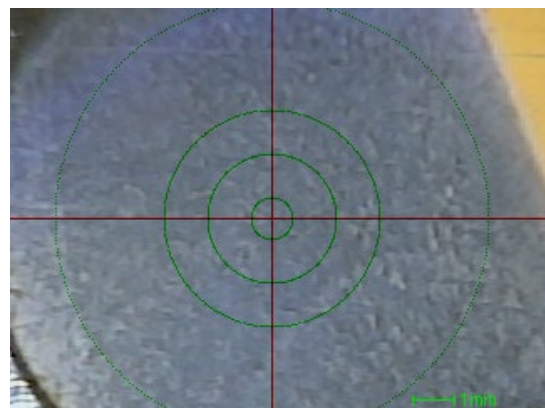


図 34 No.4 異物以外の箇所に照射

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。

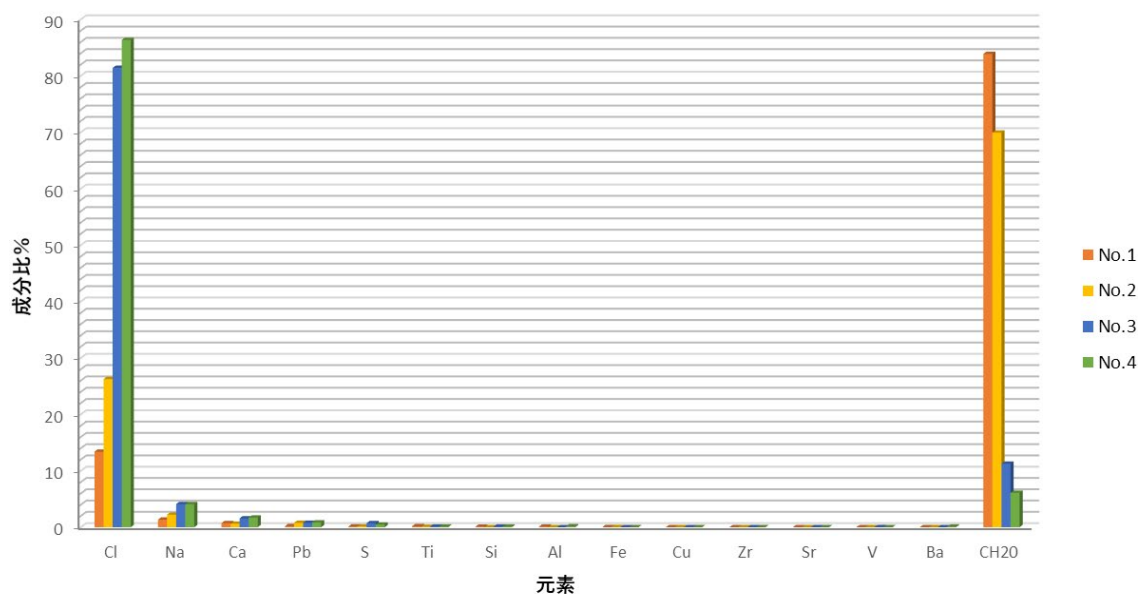


図 35 黒い塊 (No. 1 と No. 2) の元素成分比

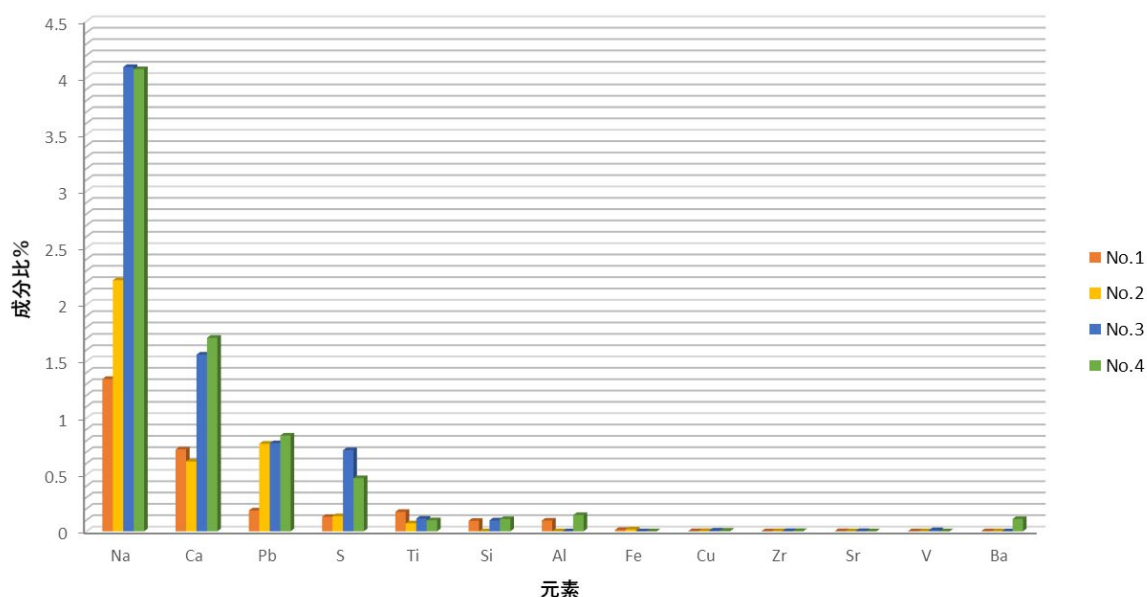


図 36 異物以外の箇所 (No. 3 と No. 4) の元素成分比

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。

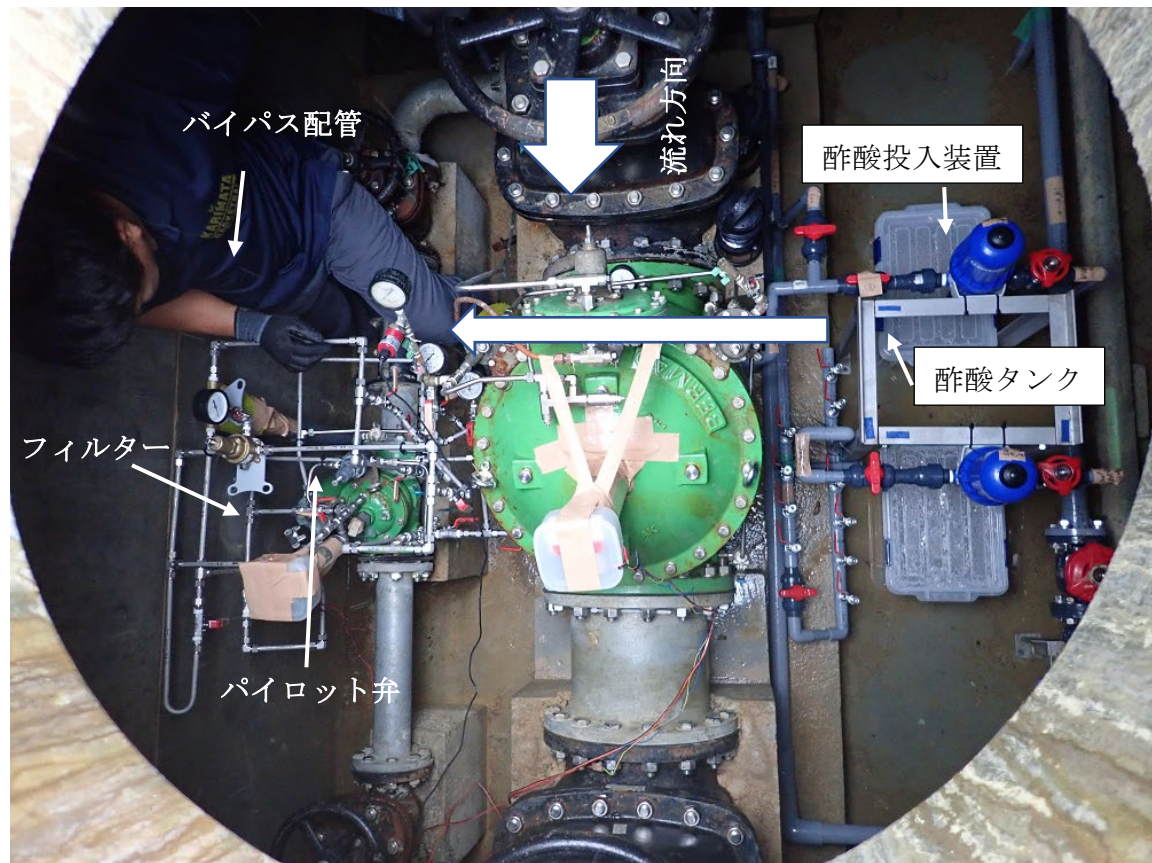


図 37 減圧弁のパイロット弁の酢酸投入装置

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、この漏水事故発生箇所は、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

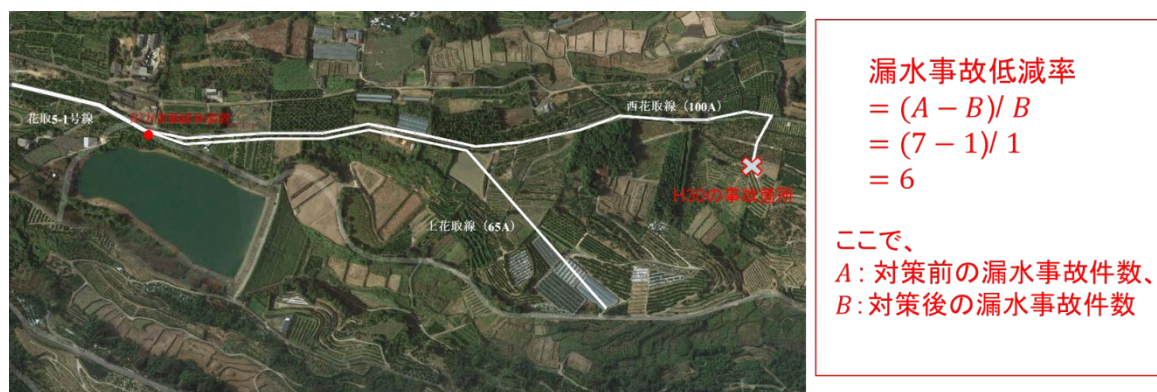


図 39 多良岳地区の圧力変動緩和装置の設置場所と漏水事故発生個所の位置関係

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