

水道スマートメーター等の
データ利活用による共同研究報告書

令和6年3月

静岡県湖西市

水道スマートメーター等のデータ利活用による共同研究報告書

目次

1	はじめに	1
2	情報通信ネットワークの構築	2
2.1	実証の目的	2
2.2	共同検針方式の情報通信ネットワークおよびデータ取得方法について	2
2.3	水道スマートメーターの設置概要スケジュールおよび設置状況	5
2.4	水道スマートメーターの設置結果および取得対策	7
2.5	30分値データの取得について	14
2.6	実証結果のまとめ	15
3	管網解析の精緻化	16
3.1	取得データの整理・確認	16
3.2	管網計算の方法	28
3.3	管網計算結果（従来方式）	31
3.4	管網計算結果（今回時間別データ活用）	32
3.5	スマートメーターデータを利用した管網状況の比較	33
3.6	スマートメーターデータの測定間隔による比較	43
4	使用水量の把握による管路口径の適正化	44
4.1	検討条件	44
4.2	従来モデルでの検討結果	44
4.3	スマートメーターモデルでの検討結果	45
4.4	結果の比較	46
4.5	ピーク流量減少による管路口径適正化の検討	51
5	使用水量による残留塩素濃度の管理	53
5.1	残留塩素の分解反応における速度係数の検討	53
5.2	管網計算の条件	59
5.3	取得データの整理・確認	61
5.4	管網解析による残留塩素濃度の計算結果	64
6	今後の展望	69

1 はじめに

湖西市は市内全域に約 430km の配水管が布設されている。

このうち、老朽化により耐用年数を迎えた既設配水管の更新として、年間 4km を目標に配水管の布設替工事を行っているが、近年はアセットマネジメントに基づく長期的な水道事業の健全経営を念頭に、水道設備全般の更新寿命がより長く設定される傾向にあり、老朽管の更新についてもより長期的な観点から実施が求められている。

想定される課題として、以下の事項がある。

- ① 人口減少に伴う将来的な水需要の減が確実とされている。
- ② 耐用年数が数十年規模の配水管において、整備から次の更新年次に至るまでに配水区域の人口変動（一般的には人口減少）による水需要と管網の規模に乖離が生じる可能性がある。
- ③ 水需要に対し管網の規模（配水管口径）が過大であった場合、管内水道水の滞留により塩素濃度の減少が生じる可能性がある。

塩素濃度については配水池と管末部にて常時測定を行っているが配水区域内のすべての地点では測定は行っておらず、また既設管網の実際の配水の方向、流速等については測定の実績が無く、水道水の滞留や塩素濃度低下の発生個所を特定する手段が無い状況であった。

この度、湖西市では市内全域にスマートメーターを設置することにより水需要の詳細な情報が入手できる環境となった。この情報から実際に配水池から出た水が末端の水道メーターにより消費されるまでの水の動きを調査し、過大となる管網の箇所を特定することで管網のダウンサイジングを行い、より適正な更新計画を策定するものである。

2 情報通信ネットワークの構築

本章では、情報通信ネットワークの構築の実証を行った結果を示す。

2.1 実証の目的

本実証では管網解析等で利用する水道メーターのデータ取得に、電力スマートメーター通信ネットワーク（「SM 通信網」という。）を活用した水道自動検針方式（「共同検針方式」という。）を採用しており、本項では「共同検針方式の情報通信ネットワークやデータ取得方法」について記載するとともに、「共同検針方式の有効性の検証」をすることを目的とする。

2.2 共同検針方式の情報通信ネットワークおよびデータ取得方法について

2.2.1 通信設備の構成

本実証で利用する共同検針方式の情報通信ネットワークの設備構成概要を図 2-1 に記載する。電子式水道メーターと通信端末の組み合わせ（「水道スマートメーター」という。）による水道メーターの自動検針では、電子式水道メーターと通信端末の間は有線で接続し、「自動検針メーター通信機能仕様書 Ver 2.6 A（東京都水道局）」の仕様により通信が行われる。また、通信端末は電力スマートメーターと無線で通信し、SM 制御管理システムとの間で認証が確認されれば、SM 通信網へ繋がる。SM 通信網へ送られた検針値や警報などの水道メーターのデータは、SM 制御管理システムにて電力小売り事業者へと送られる電力データと切り分けられ、水道検針システムへと蓄積される。水道事業者はこの水道検針システムへインターネットを経由してアクセスすることで、水道メーターのデータが取得可能となる。

なお、共同検針方式の情報通信ネットワークは双方向の通信が可能となっており、必要に応じて水道検針システムから水道メーターの最新データを取得することなどが可能である。

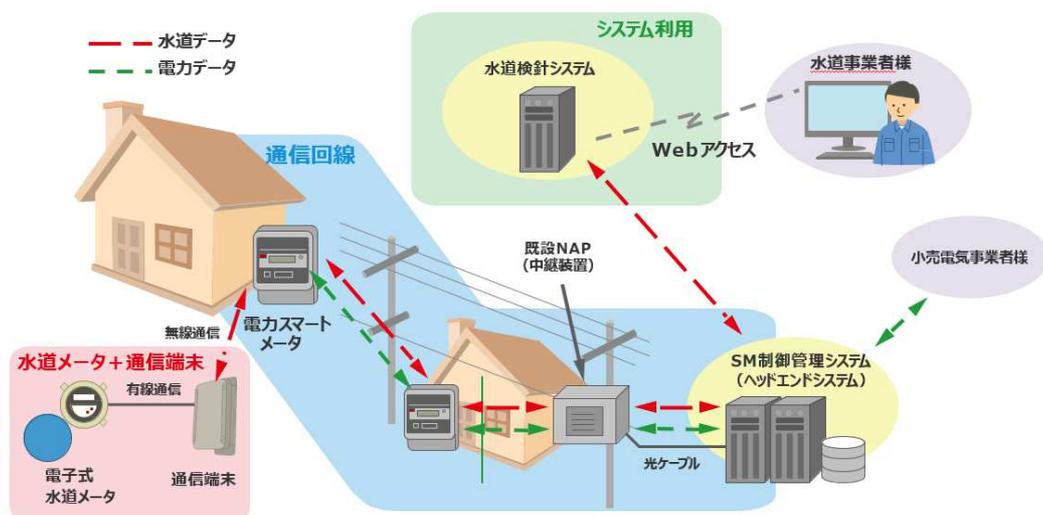


図 2-1 共同検針方式の情報通信ネットワークの設備構成概要

2.2.2 通信端末について

本実証では図 2-2 に示す地上式通信端末（水没しない環境で使用する通信端末：IP54 仕様）および地下式通信端末（水没しても使用可能な防水通信端末：IPX8 仕様）の 2 タイプの通信端末を使用した。地上式の通信端末は主に隔測表示器用ポール設置箇所に使用した。地下式の通信端末は水道柙内の設置箇所に使用した。設置戸数は地上式の通信端末が 16 箇所、地下式の通信端末が 1,875 箇所となっている。



図 2-2 地上式通信端末および地下式通信端末について

2.2.3 データ取得方法について

本実証における、データの取得方法は以下のとおりとした。

- 1) ロードサーベイデータ一括取得方式：2022年4月から2022年6月まで。

あらかじめ、水道メーターに対しロードサーベイ（「LS」という。）機能を水道検針システムから設定しておく。この設定により、水道メーターは指定時間毎に継続して指示値をLSとして蓄積する。その上で水道検針システムは、1日に2度通信端末を経由し、水道メーター内のLSを64値取得し、蓄積する。そのため、ある時刻の指針値は1時間値であれば最大4回、30分値であれば最大2回水道検針システムへ繰り返し伝送されることとなる。同時刻の指針値を繰り返し送るため、通信状況等により取得が失敗した場合にも、次のタイミングで取得成功することで、失敗データが補完される仕組みとなっている。取得方式の概要を図 2-3 に示す。

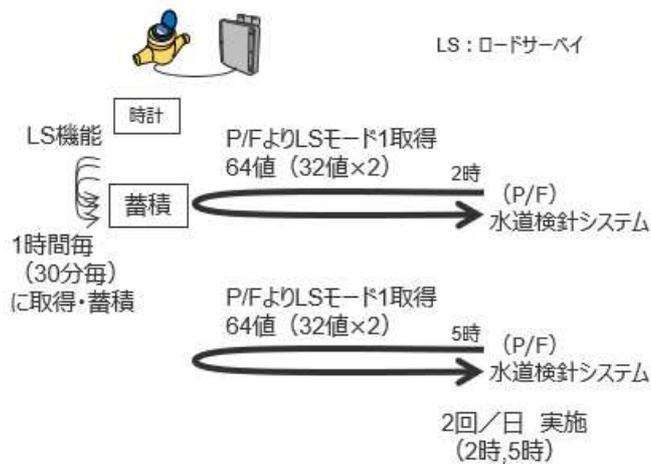


図 2-3 ロードサーベイデータ一括取得方式

2) 通信端末吹上方式：2022年7月以降

通信端末は1時間毎の水道メーターの指示値を「随時検針要求」電文にて取得し、通信端末に指示値及び取得時刻の組み合わせ（「指示値等データ」という。）で蓄積する。蓄積された指示値等データは、4時間毎に4時間分を水道検針システムへ送信される。また、通信端末吹上方式（図 2-4）においては、SM 制御管理システム（HES）にてデータの取得状況監視、取得を行う欠測補完監視機能を備えており、吹上（通信端末から HES への上り通信）に失敗した場合でも、事後に端末に蓄積された指示値等データを取得する「欠測補完機能」によりデータ補完が出来る仕組みとなっている。

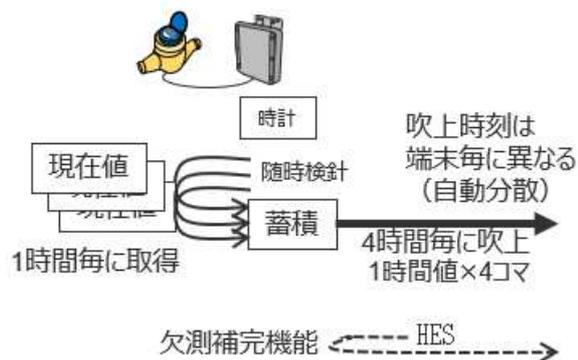


図 2-4 通信端末吹上取得方式

2.3 水道スマートメーターの設置概要スケジュールおよび設置状況

2.3.1 エリア

湖西市北部の知波田地区および入出地区の設置エリアを示す。(図 2-5 の通り。)

エリアの特長としては住宅地の他に山間地や湖畔エリアを含む。

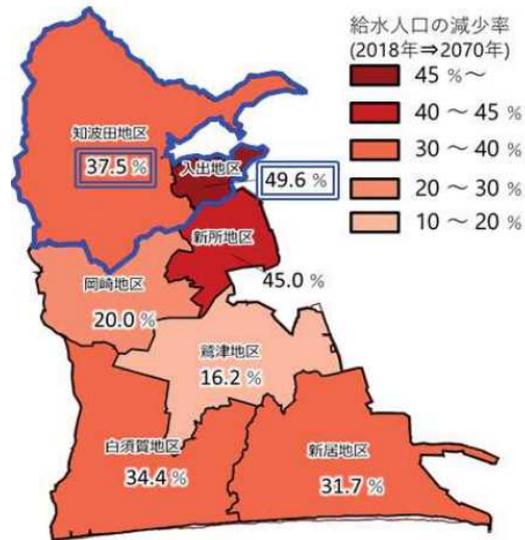


図 2-5 設置エリア

2.3.2 対象件数

1,891 件 (地上式 : 16 件、地下式 : 1,875 件)

2.3.3 スケジュール

設置期間 : 2021 年 8 月～2022 年 3 月

ネットワーク構築期間 : 2022 年 4 月～2022 年 10 月

(4)設置状況（設置例）

地上式の通信端末はポール等に設置、地下式は水道枡内に収まる形で設置した。水道枡内への非防水端末の設置については、水道枡内の状況が一様でないことから、縦置きや横置き等様々な置き方で設置した。（図 2-6、図 2-7）



図 2-6 地上式端末設置例



図 2-7 地下式通信端末設置例（縦置き・横置きの例）

2.4 水道スマートメーターの設置結果および取得対策

2.4.1 データ取得状況

2022年3月に1,891台の設置が完了し、2023年4月よりデータ取得率の分析を実施した。当初上位からLSデータを取得する方式を採用していたが、一度に通信するデータ容量が大きいことや、通信の集中による輻輳が発生したことによるデータ通信成功率の低下が見られた。そのため、2022年5月～6月に通信方式を、LS取得方式から端末吹上方式へと変更を実施した。変更後に通信状況の改善が確認され、加えて湖西市による電波対策として金属の水道柵の蓋交換や端末の地上設置、およびSM通信網の強化対策として電力スマートメーターの柱上設置を実施した結果、2022年11月にはデータ取得率100%を達成した。以後2022年11月以降はデータ取得率100%を維持している。

なお、データ取得率は、1時間値または30分値の取得コマ数/1時間値または30分値の総コマ数として算出している。

図2-8にデータ取得率の推移を示す。データ取得率の詳細を図2-9～図2-16に示す。

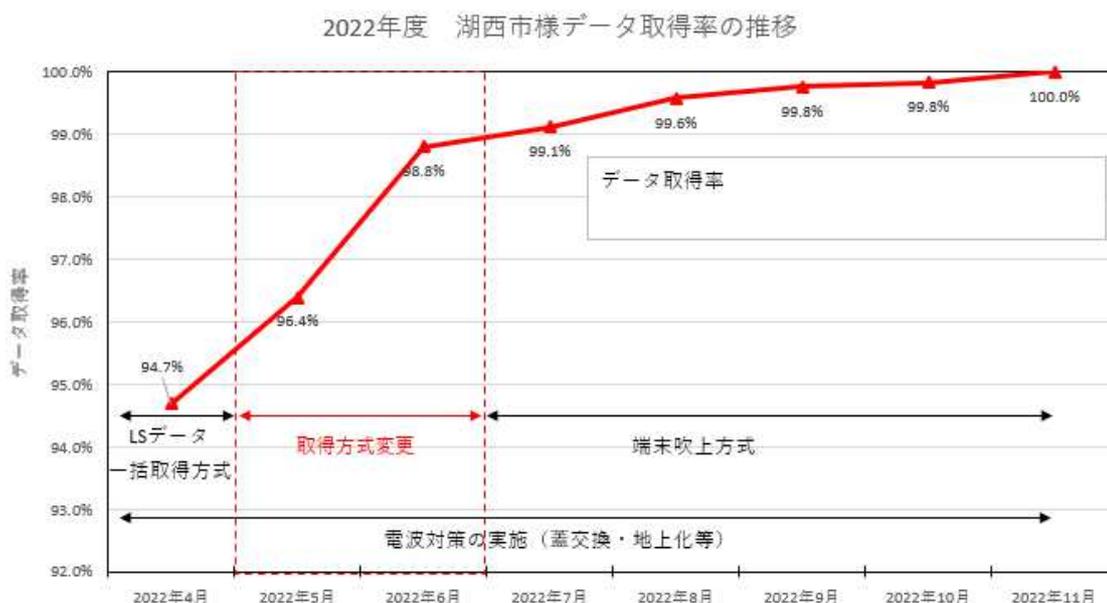


図 2-8 2022年4月～2022年11月データ取得率の推移

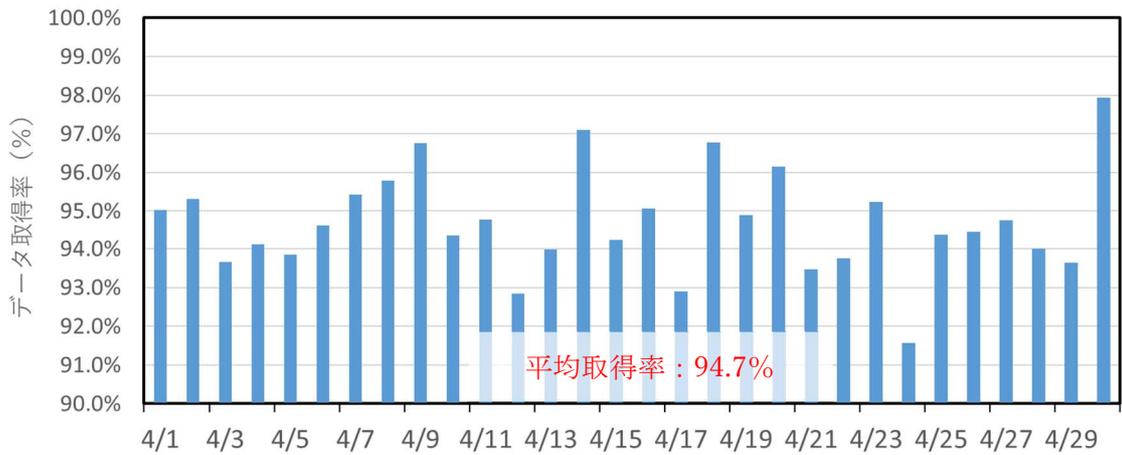


図 2-9 2022年4月データ取得率の詳細

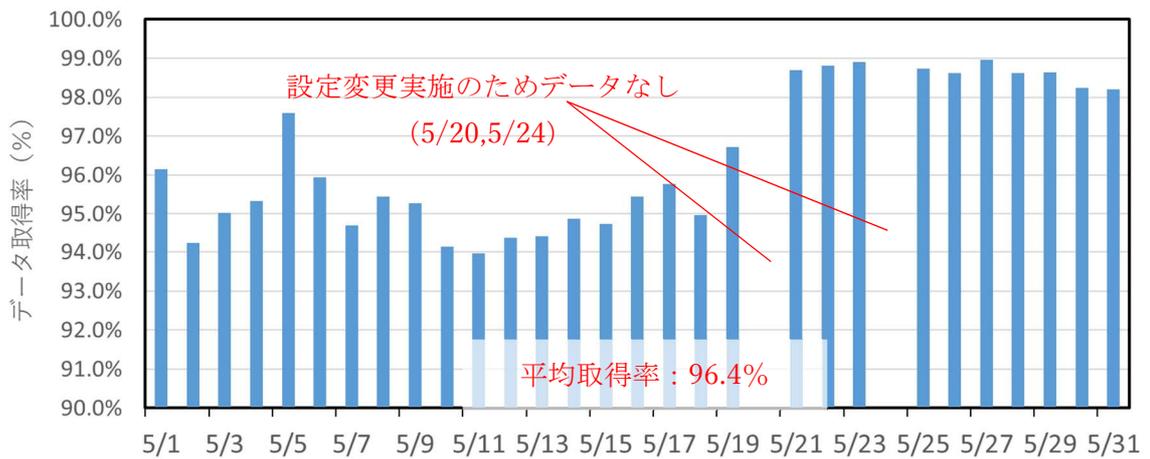


図 2-10 2022年5月データ取得率の詳細

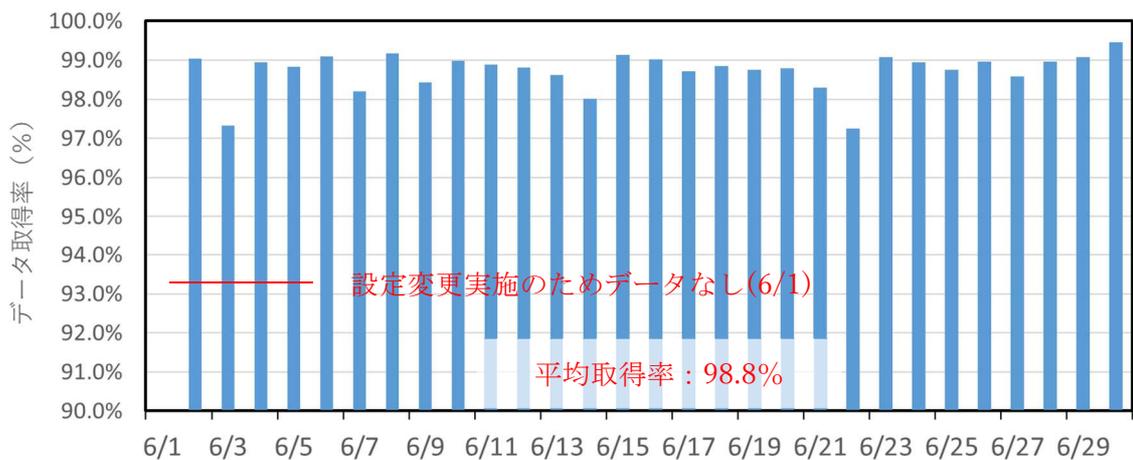


図 2-11 2022年6月データ取得率の詳細

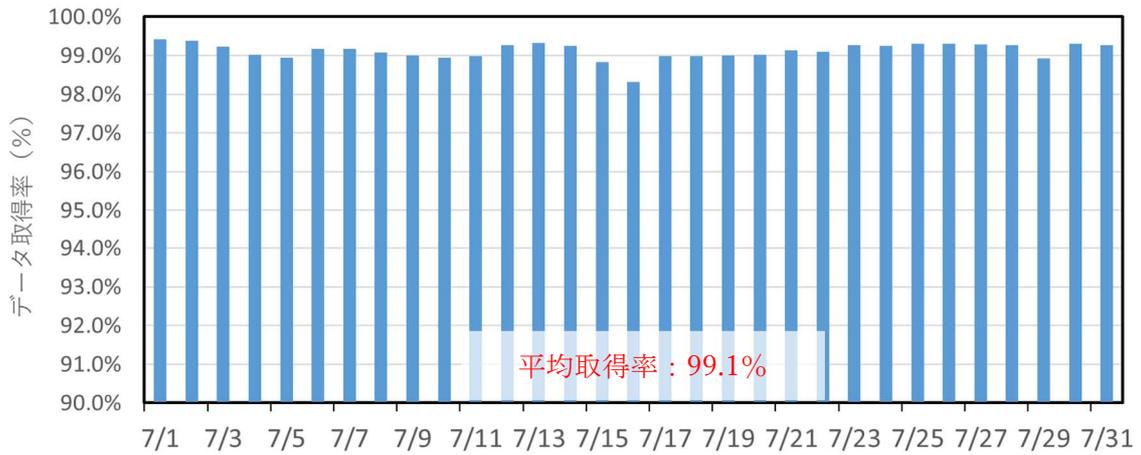


図 2-12 2022年7月データ取得率の詳細

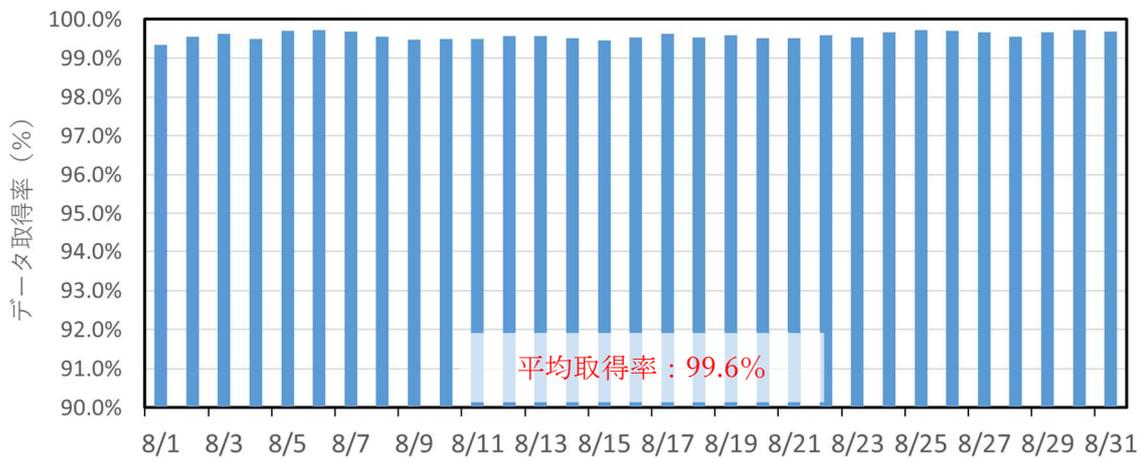


図 2-13 2022年8月データ取得率の詳細

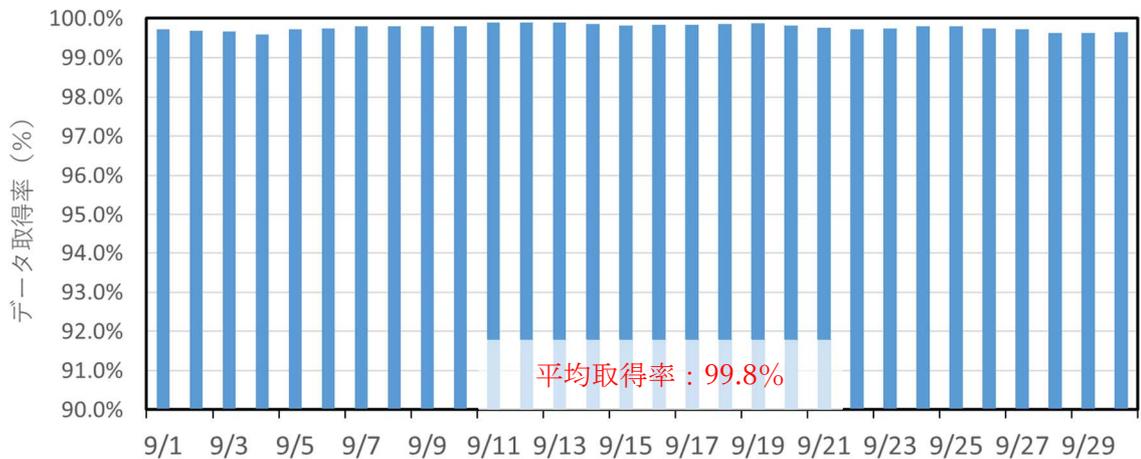


図 2-14 2022年9月データ取得率の詳細

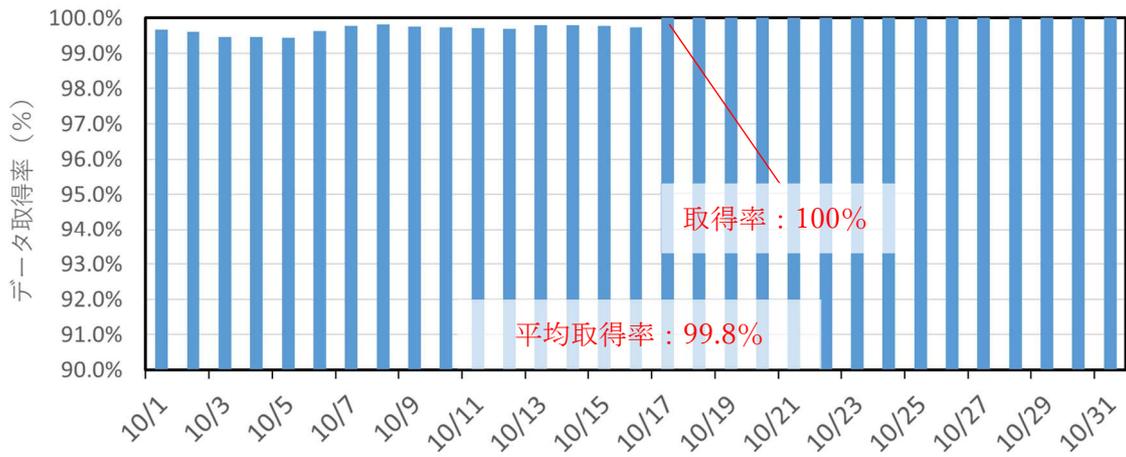


図 2-15 2022年10月データ取得率の詳細

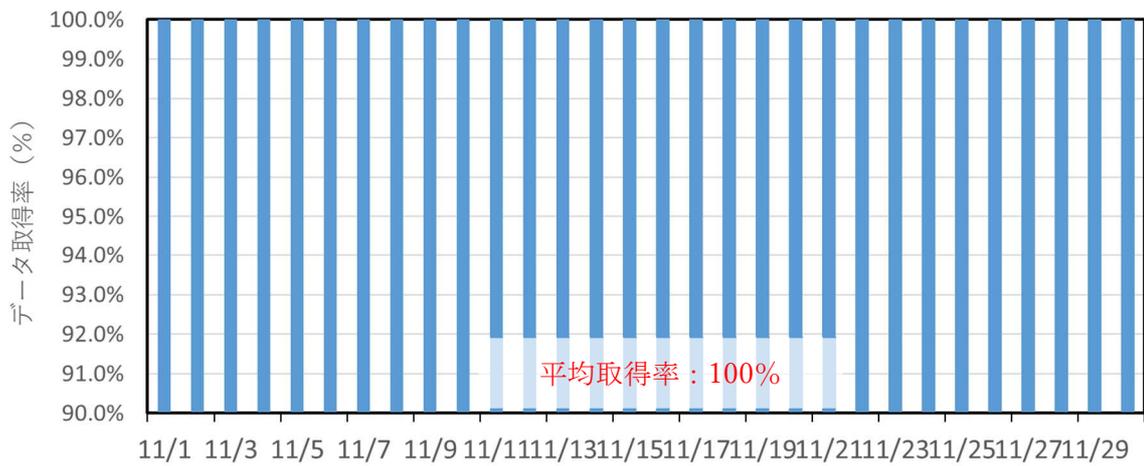


図 2-16 2022年11月データ取得率の詳細

2.4.2 データ取得が100%でない箇所について

全1,891箇所の内、54箇所については100%のデータ取得が確認できなかった。データ取得が確認できなかった原因は表2-1のとおり。水道枡内の金属蓋や水没による電波減衰が原因の大半を占めており、その他には遮蔽物や周囲に電力SMがないことなどが原因として確認された。

表 2-1 データ取得困難原因と箇所数

原因	箇所数
鉄蓋	22
水没	17
遮蔽物	3
周囲に電力SMなし	3
その他（枡が深いため等）	9
合計	54

2.4.3 データ取得率向上のための対策について

データ取得率向上のため、データ取得困難箇所の54箇所について取得対策を実施した。対応策と箇所数については表2-2のとおり。鉄蓋箇所については水道枡・水道枡蓋交換、水没箇所については枡内設置位置改善（台座設置・蓋裏に通信端末固定）や環境改善（掘削、障害物除去等）、遮蔽物の箇所については環境改善（掘削、障害物除去等）、周囲に電力SMがない箇所については、電力SM増設による対応策を主に実施することで取得率100%へと改善した。

表 2-2 データ取得困難箇所への対応策と箇所数

原因	箇所数	水道枡・水道枡蓋交換	通信端末地上化	枡内設置位置改善（台座設置・蓋裏に通信端末固定）	環境改善（掘削、障害物除去等）	電力SMの増設
鉄蓋	22	18	3	-	-	1
水没	17	3	2	8	4	-
遮蔽物	3	-	1	-	2	-
電力SMなし	3	-	-	-	-	3
その他	9	-	9	-	-	-
合計	54	21	15	8	6	4

1) 水道枡・水道枡蓋交換

21箇所について水道枡・水道枡蓋交換の交換を実施した。図 2-17 に水道枡・の交換事例を示す。

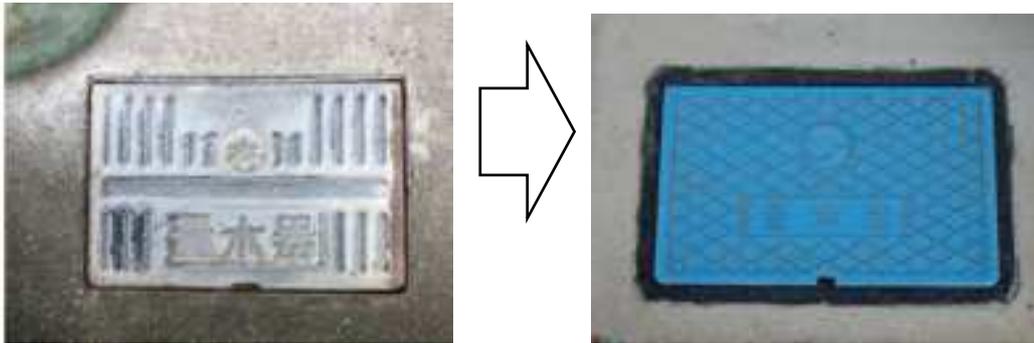


図 2-17 水道枡・水道枡蓋交換箇所

2) 通信端末地上化

15箇所について通信端末地上化を実施した。図 2-18 に通信端末地上化事例を示す。



図 2-18 通信端末地上化箇所

3) 枡内設置位置改善（台座設置・蓋裏に通信端末固定）

8箇所について枡内設置位置改善（台座設置・蓋裏に通信端末固定）による通信改善を実施した。図 2-19 に水道升内の架台設置事例を示す。

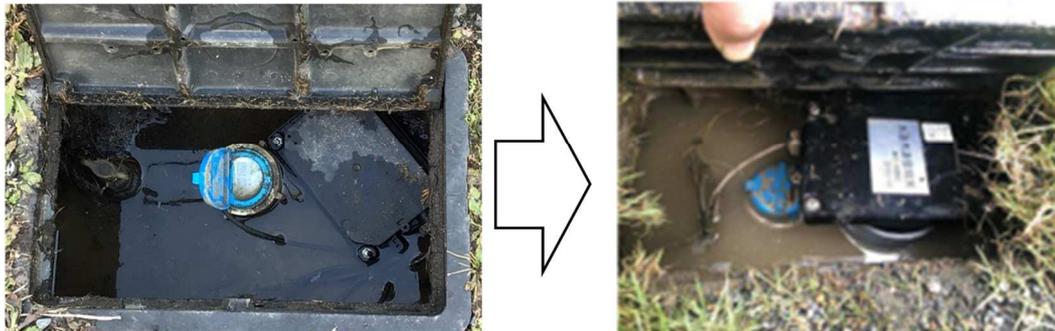


図 2-19 柵内設置位置改善（台座設置）

4) 環境改善（掘削、障害物除去等）

4 箇所について環境改善（掘削、障害物除去等）による通信改善を実施した。図 2-20 に環境改善（掘削、障害物除去等）事例を示す。



図 2-20 環境改善（障害物除去）箇所

5) 電力 SM の増設

4 箇所について柱上への電力 SM の増設を実施した。図 2-21 に端末の柱上への電力スマートメーターの設置を示す。

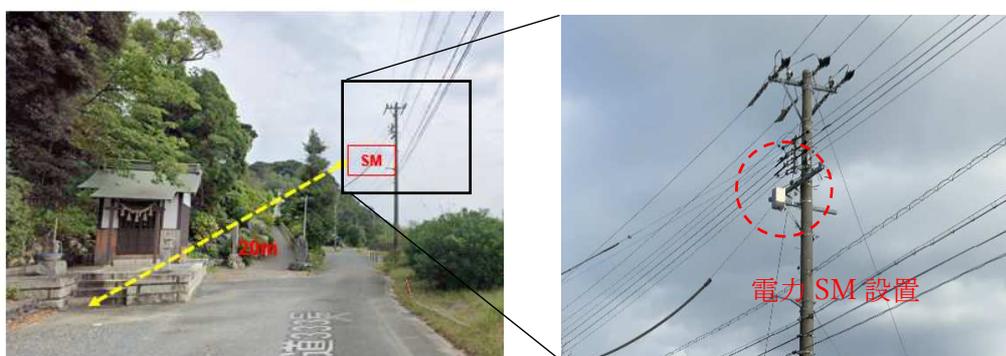


図 2-21 柱上電力スマートメーター設置地点

2.5 30分値データの取得について

2022年11月より1年間データ取得率100%を達成できたため、2023年11月の1か月間、30分値データの取得を実施することとした。

2.5.1 取得方法の変更について

2023年11月以降に以下の方法により30分値データの取得を実施した。

通信端末吹上方式は1時間毎が最短のデータ取得間隔であるため、30分値を取得することができない。一方、2022年4月から2022年6月に実施したロードサーベイデータ一括取得方式は、30分毎のLS動作を水道メーターに設定することが可能であるが、一度に通信するデータ容量が大きいことや、通信の集中による輻輳が発生したことによるデータ通信成功率の低下が見られた。そのため、今回の取得においては、図2-22に示すように、一度に通信するデータ量を64値から32値として8時間周期で伝送することとし、送信タイミングの異なる32グループに端末を分類し、時間分散を実施した。



図 2-22 ロードサーベイデータ一括取得方式 (変更後)

2.5.2 取得結果について

2023年11月1日から11月30日の1か月間30分値データの取得を実施した。実施結果については、図 2-23 に示すように、1か月間の平均取得率は98.9%となっており、1時間毎LS（4回繰り返し送信）と比べて30分毎LS（2回繰り返し送信）の方がチャンスが少なくなっているにもかかわらず、方式変更前の取得率2022年4月の94.7%、5月の96.4%を大きく上回り、送信タイミングの時間分散による効果が確認できた。

一方で、11月10日に91.3%および11月16日に94.1%と取得率の低下が見られた。この日の前後では、1日に30mmを超える降水量が観測されており、降雨により水道枡内が水没したことが取得率低下につながったと考えられる。

今回の実証では湖西市と1時間値が100%取得できることを目標に環境整備、システムの構築を行った。今後30分値のデータ利活用に向けて取得率を向上していくためには、環境整備として水道枡内の降雨時の水没対策、システムの対応としてLSデータ送信タイミングの更なる分散化、さらにはメーターからの送信回数を増やすためにメーターの電池持ちの改善等を対策として実施していくことが必要であると考えられる。

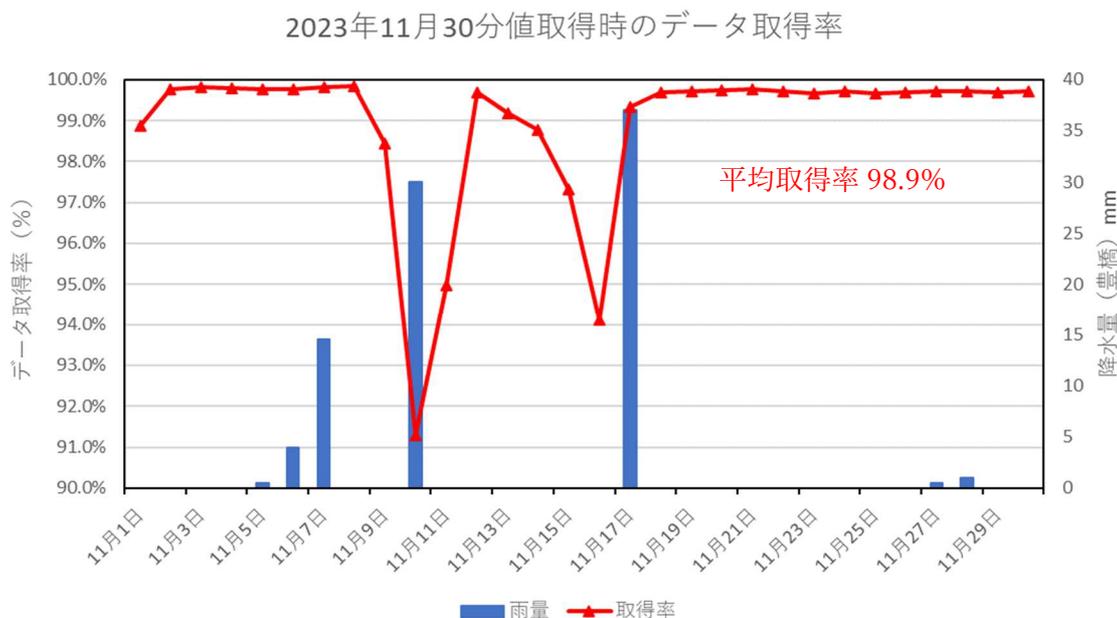


図 2-23 2023年11月の30分値データ取得率

2.6 実証結果のまとめ

本実証では水道メーターのデータ取得に、共同検針方式を採用して水道検針データの取得を実施した。1時間値の取得に関しては、一部について電波対策を実施した結果、2022年11月以降は取得率100%を達成しており、確実にデータ取得ができる情報通信ネットワークを構築できた。以上の結果より、電波環境としては厳しい水道枡内においても、本方式の有効性を確認することが出来た。

3 管網解析の精緻化

本章では、スマートメーターの活用による管網解析の精緻化の検討を行った結果を示す。

3.1 取得データの整理・確認

取得したデータは戸別のスマートメーターデータを含む以下の3種類。

- 配水池流量計、水位データ
- 管網の途中に設置した超音波流量計データ
- スマートメーターデータ

3.1.1 スマートメーターデータの補間

スマートメーターデータは基本的に1時間ごとの値を取得しているが、一部でデータの欠損が生じることがあった。データは累積値として取得しているため、図3-1に示すように累積値から使用水量を瞬時値として算出する際にデータの欠損があると、データが欠損している期間の使用水量が、データの欠損が終わった次の時間の使用水量となってしまふ。そのため、スマートメーターデータに欠損値があった場合には、その欠損値を直線補間した。

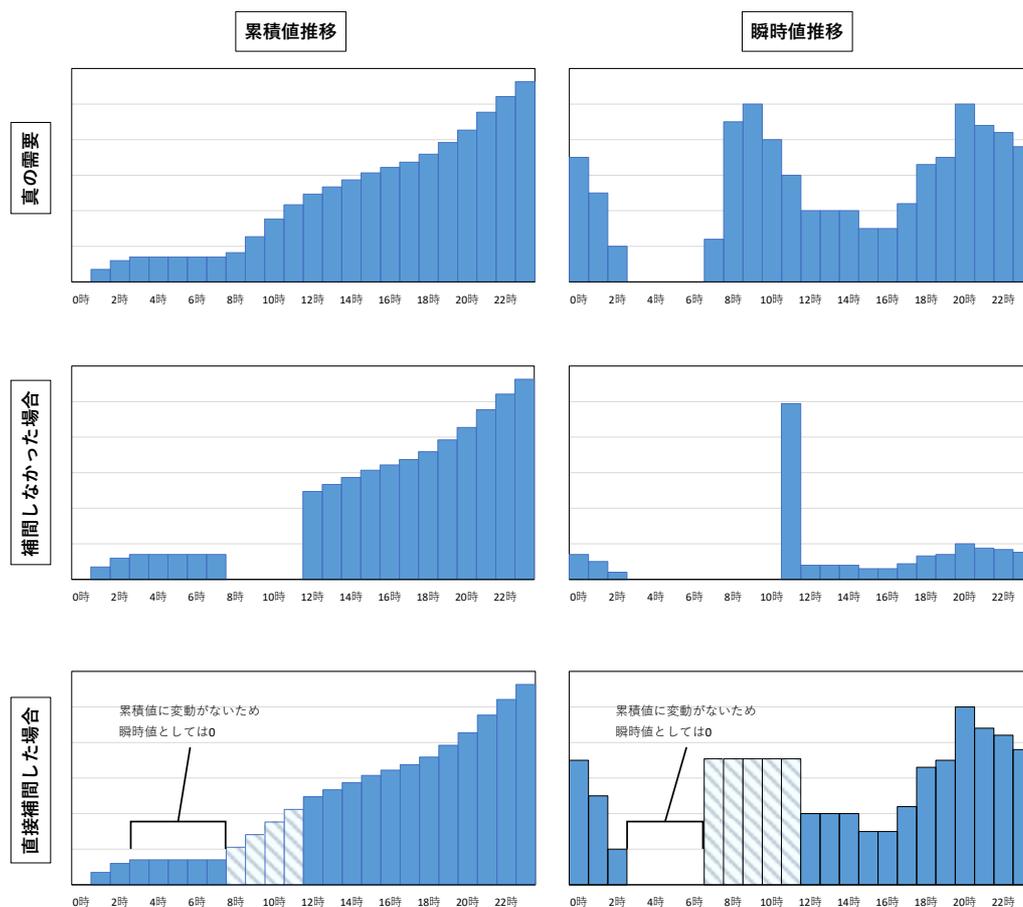
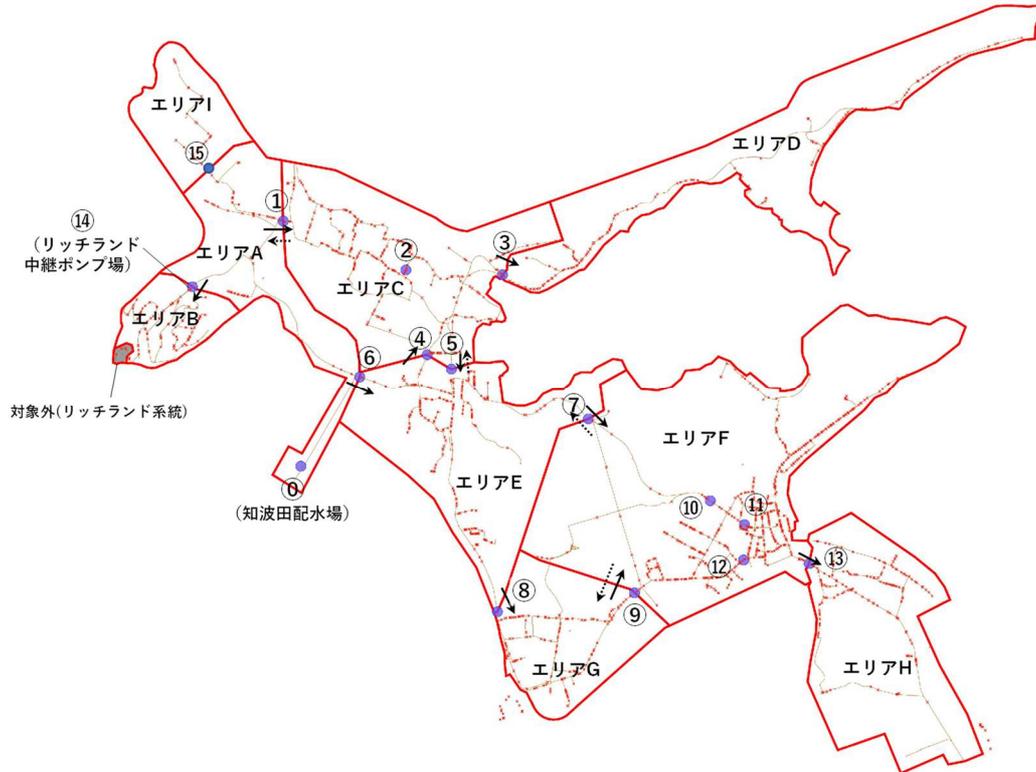


図 3-1 データ補間のイメージ図

3.1.2 各流量計の比較

小管メーターによる流量の測定を図 3-2 に示す市内 15 箇所で行い、ブロック内における水量収支の把握とスマートメーター水量との比較を行った。



新番号	場所	口径	管種	エリア	流量収支方程式
①	知波田配水場管内流量計 ※既設	-	-	知波田配水場	+①
②	知波田大ブロック入口2	φ100	HIVP	エリアA	+①-⑥-⑭-⑮-①
③	知波田大ブロック管網ブロック内	φ100	HIVP	エリアB	+⑭
④	知波田大ブロック出口	φ150	DIP	エリアC	+①-③+④-⑤
⑤	知波田大ブロック入口1	φ100	PP	エリアD	+③
⑥	知波田大ブロック入口3	φ150	PP	エリアE	+⑥-④+⑤-⑧-⑦
⑦	知波田配水場出口	φ150	DIP	エリアF	+⑦-⑮+⑨
⑧	入出大ブロック入口	φ150	DIP	エリアG	+⑮-⑨
⑨	入出小ブロック入口 入出大ブロック入口	φ150	DIP	エリアH	+⑬
⑩	入出小ブロック出口 入出大ブロック出口	φ100	HIVP	エリアI	+⑮
⑪	入出大ブロック管網ブロック内	φ200	DIP		
⑫	入出大ブロック管網ブロック内	φ150	DIP		
⑬	入出大ブロック管網ブロック内	φ100	HIVP		
⑭	入出大ブロック出口	φ100	HIVP		
⑮	リッチランド中継ポンプ場内流量計 ※既設	-	-		
⑯	大原加圧ポンプ場吐出側				

+: 流入 - : 流出

エリアFとエリアGは送水管の配水管化により、エリア間を通るルートが増えているため、エリアでの流量収支を取るには追加の超音波流量計が必要となる。

図 3-2 流量測定位置

【配水場・中継ポンプ場】電磁流量計（番号①、⑭、⑮）

【小管流量計】超音波流量計

【スマートメーター】羽根車式流量計

1) 超音波流量計と電磁流量計の比較

超音波流量計と電磁流量計を直接比較可能な地点はないが、エリア A とエリア I における水需要が少ないことから、図 3-3 に示すとおり、電磁流量計として⑩から⑭を引いた流量と、超音波流量計として①、⑥の合計流量を比較した。

超音波流量計と電磁流量計の流量の指示値が同じになる場合、以下の式が成立する。

$$(\textcircled{10} - \textcircled{14}) - (\textcircled{1} + \textcircled{6}) = \text{エリアA及びエリアIの水需要}$$

そのため、エリア A 及びエリア I の分の流量だけ、⑩-⑭の方が大きくなると思われたが、全体的に①+⑥の方が若干流量は大きくなっている。全体的な傾向としては同様であり、時間によっては、誤差が 1 m³/時間未満となる場合もあった。

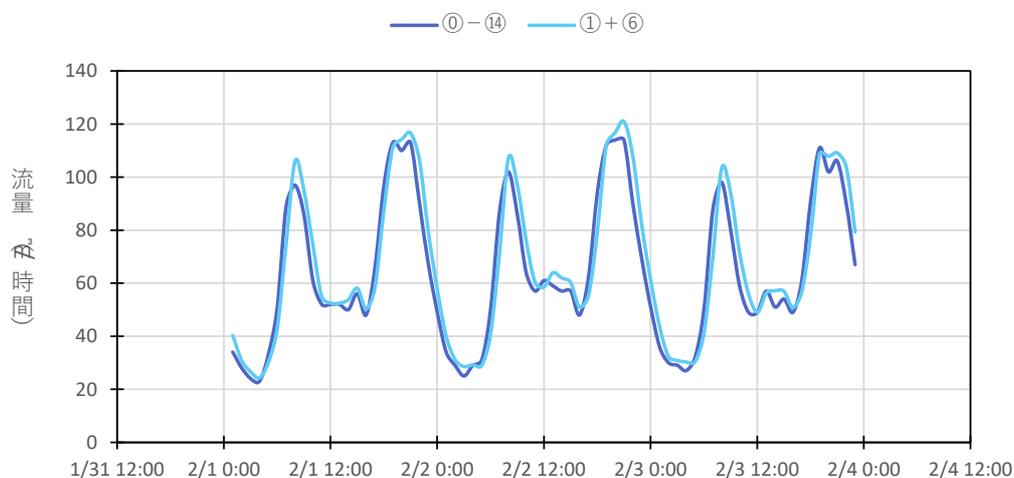


図 3-3 超音波流量計と電磁流量計の比較

2) 電磁流量計とスマートメーターの比較

(1) 流量による器差の補正

スマートメーターの羽根車式の流量計では図 3-4 に示すとおり、流量が少ない場合、実際の流量と流量計の指示値に差が生じる（流量が少ない場合、実際の流量よりも指示値が低くなる。）。そのため、スマートメーターの1時間流量に対して、メーカー公表の器差による補正を行った。なお、プロットの範囲外については、器差の最低値で一定になるものとした。

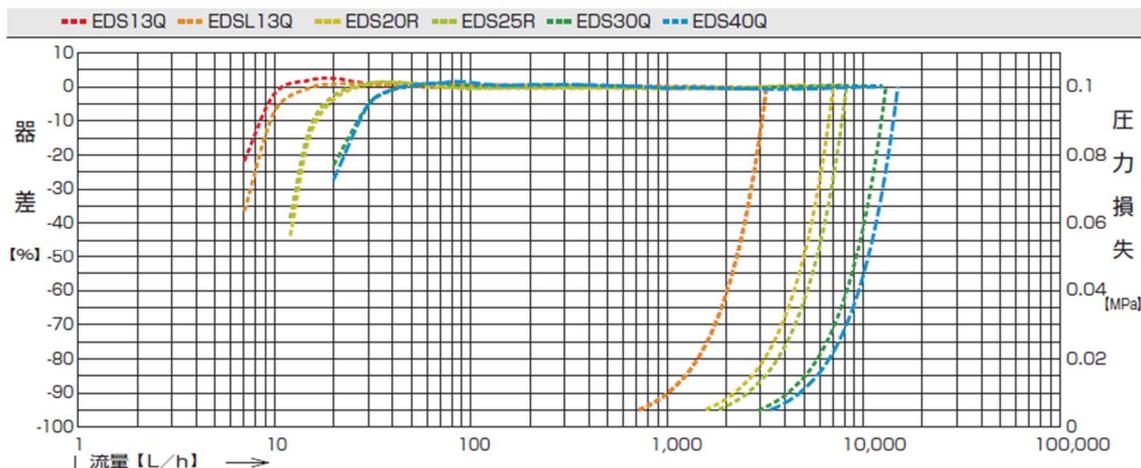


図 3-4 羽根車式流量計の流量と器差

(2) 比較結果

電磁流量計とスマートメーターの比較として、電磁流量計としては⑩-⑭を、スマートメーターとして、エリア B を除く全体の流量の比較（2023 年 2 月）を行った。

エリア B (⑭) を比較から除いた理由としては、このエリアの配水形態が、知波田配水場からの直接の自然流下ではなく、途中でリッチランド中継ポンプによる増圧をして配水している時間帯と、リッチランドの配水池からの自然流下によって配水している時間帯があるという変則的な運用をしているためである。

2 月の一部の期間について比較した結果は、図 3-5 に示すとおりとなった。図は上から、各流量を示した図、スマートメーターと電磁流量計の流量の差を整理した図、スマートメーターと電磁流量計の流量の割合を示した図である。

スマートメーターの集計値は補正をした場合としない場合の両方を示している。補正による流量の影響は、全体としては大きくないが、2/2 の 3 時ごろなどは、補正後スマートメーターの集計値としての流量が $16 \text{ m}^3/\text{h}$ のところで、 $1.6 \text{ m}^3/\text{h}$ の差が生じている。

電磁流量計とスマートメーターの差は、 $10 \text{ m}^3/\text{h}$ の前後で推移しており、流量が増加していく時間帯において、差が縮まる傾向にある。この傾向の要因は、スマートメーター内の時計のずれによって、流量の変化がずれており、その結果同じ時間の流量の差としては縮まっている可能性が考えられる。

電磁流量計とスマートメーターの差は流量との相関があまりないよう見られ、特に流量の少ない深夜帯において、電磁流量計に対するスマートメーターの集計値の割合が 60～70%になっており、誤差としては、30～40%と大きなものとなっている。

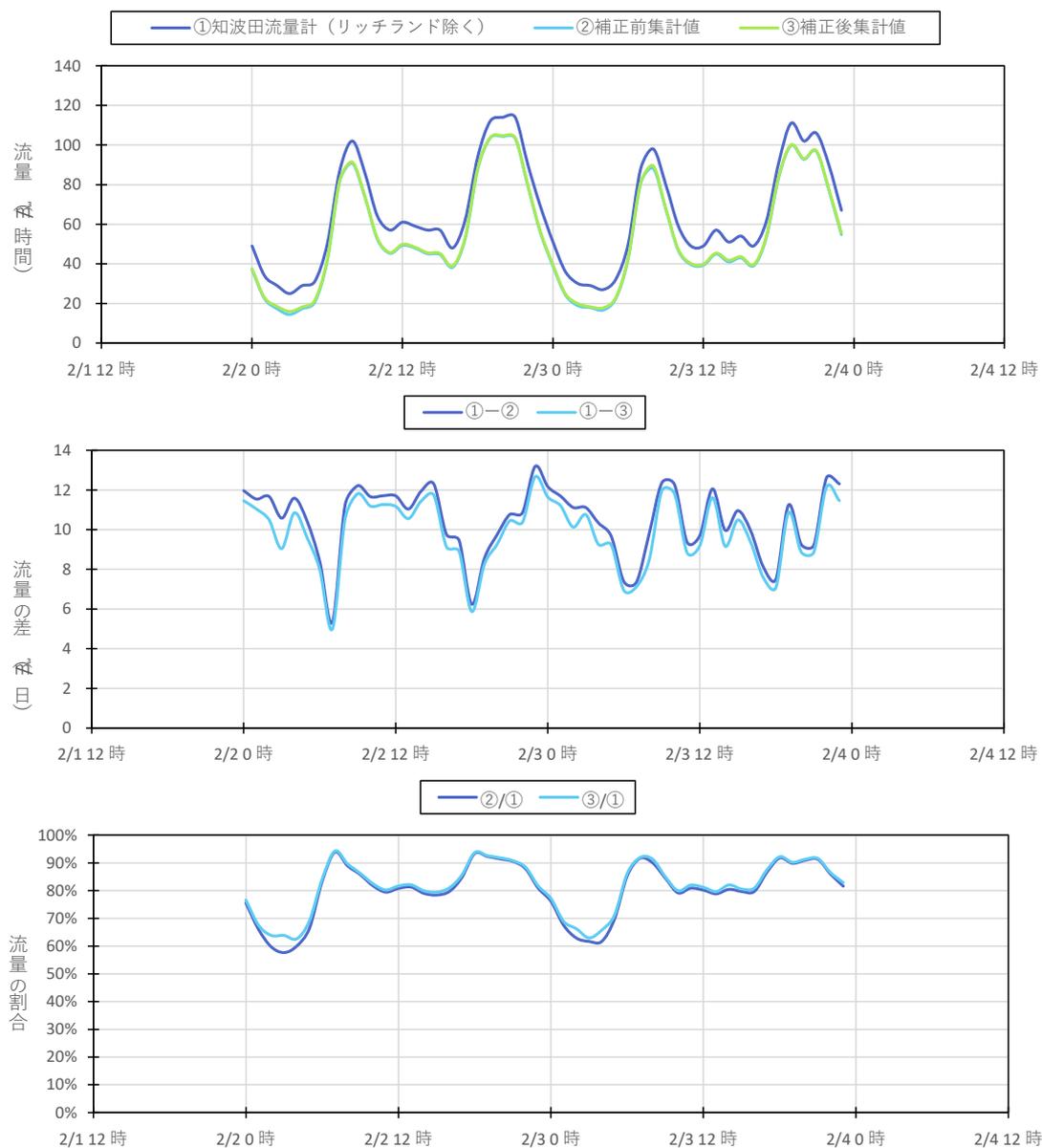


図 3-5 電磁流量計とスマートメーターの比較

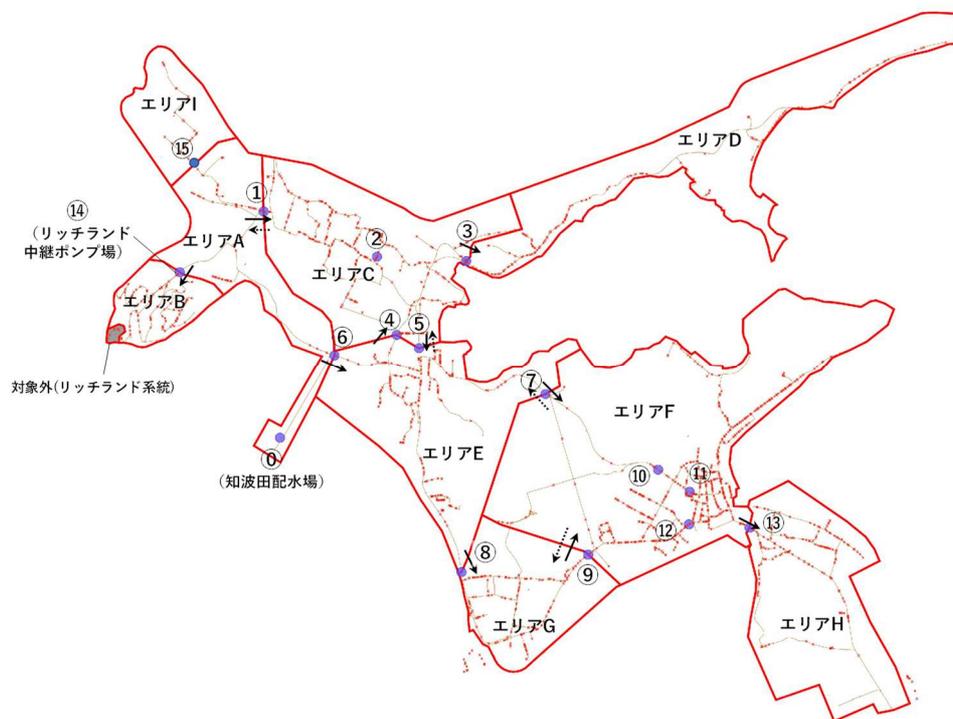
3) 超音波流量計とスマートメーターの比較

超音波流量計と電磁流量計の比較（3で整理）では、超音波流量計の流量の方が大きいものの、差は比較的小さく、電磁流量計とスマートメーターの比較（4で整理）では、差が大きい結果であったことから、超音波流量計とスマートメーターの差も大きいことが想定される。

超音波流量計や電磁流量計との差が発生するエリアを明らかにするため、エリアにおける水需要を超音波流量計の流量収支によって算出する場合と、器差補正後のスマートメーターの集計値によって算出する場合で比較した。

比較したエリアと超音波流量計の収支式は図 3-6 に示すとおり。

また、超音波流量計の流向について、2023年2月のデータでは、⑤と⑦で流向の逆転が確認された。また③でも流量がマイナス（最大でも $0.4 \text{ m}^3/\text{h}$ 程度）となっている時間帯が存在した。



エリア	流量計収支式
エリアA+I	①-①-⑥-⑭
エリアC	①+④-⑤-③
エリアD	③
エリアE	⑥-⑦-④+⑤-⑧
エリアF+G+H	⑦+⑧
エリアC+D+E+F+G+H	①+⑥

図 3-6 比較したエリアと流量収支式

(1) エリア A+I

エリア A+I で流量収支とスマートメーター集計値で傾向が大きく異なる結果となった。

エリア A+I は知波田配水場からの流量とリッチランド中継ポンプの流量を計算に使う必要があるため、純粋なスマートメーターと超音波流量計の比較ではない。

エリア A+I では、前述した超音波流量計と電磁流量計との比較を行った際に示している通り、エリア A+I の水需要の分、本来電磁流量計の方が大きくなるべきところに、超音波流量計の方が大きくなっている時間もあることから、超音波流量計と電磁流量計の機器の差が結果に大きく影響していると考えられる。

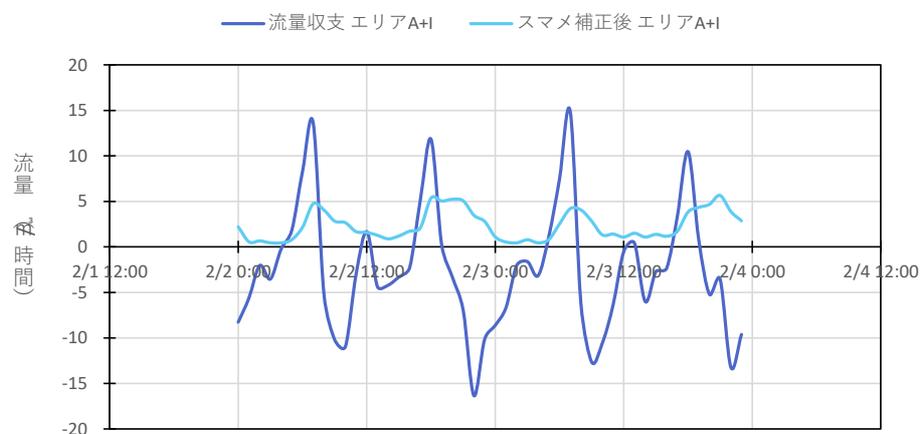


図 3-7 エリア A+I における流量計収支とスマートメーター集計値の比較

(2) エリア C

エリア C では、流量収支とスマートメーターの集計値は同じ傾向であり、比較的流量差も小さくみられるが、時間軸の方向にずれているような結果となっており、1 時間分グラフをずらすとより近い形となる。この原因について、データ取得時やバッテリー交換などによる電源停止時に時計も停止していたことにより、そのずれが積み重なることで、測定時間にずれが生じていた。

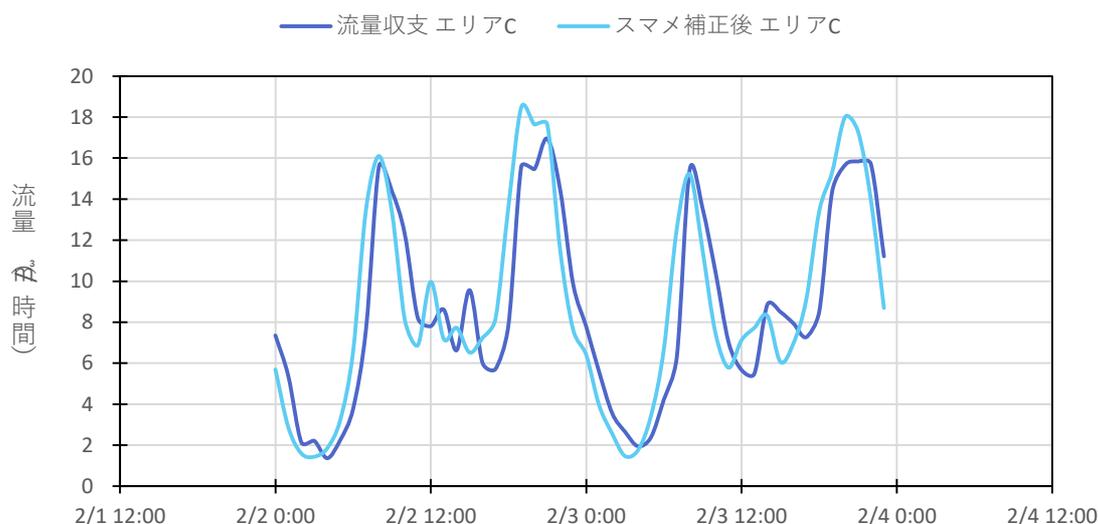


図 3-8 エリア C における流量計収支とスマートメーター集計値の比較

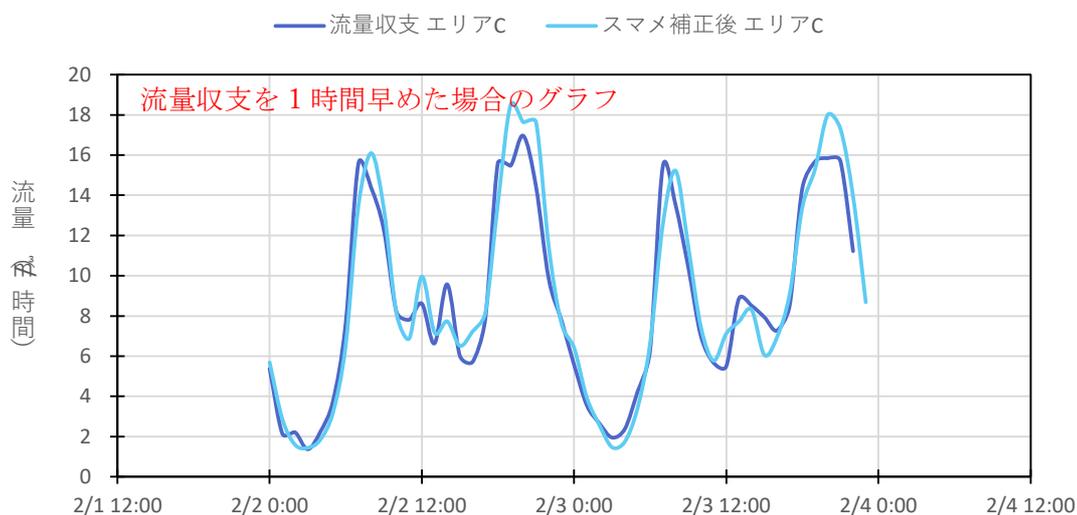


図 3-9 エリア C における流量計収支とスマートメーター集計値の比較 (1 時間補正)

(3) エリアD

エリアDについては、おおむね傾向としては近いものの、流量に差がある結果となっている。単一の超音波流量計とスマートメーターの集計値の比較した結果のため、原因としては、スマートメーターと超音波流量計間の機器の差や、流量計を通さない水の使用が考えられる。

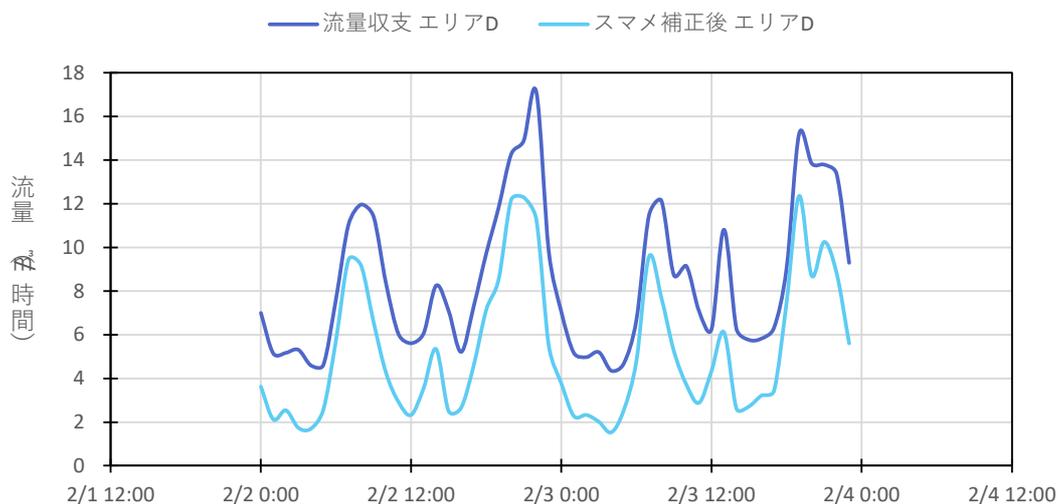


図 3-10 エリアDにおける流量計収支とスマートメーター集計値の比較

(4) エリアE

エリアEについても、エリアDと同様に傾向は近いものの、流量に差が生じている。

エリアEは複数の超音波流量計の足し引きによって、エリア水需要を算出しているため、エリアDのような流量計を通さない水の使用や、スマートメーターと超音波流量計間の機器の差の他に、超音波流量計同士での機器の差が原因として考えられる。

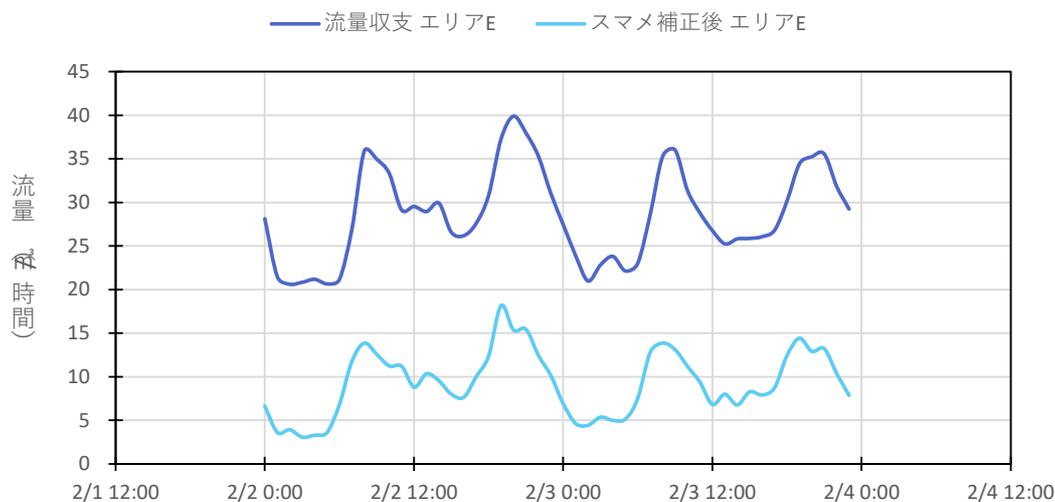


図 3-11 エリアEにおける流量計収支とスマートメーター集計値の比較

(5) エリア F+G+H

エリア F+G+H では、これまでと異なり基本的にスマートメーター集計値の方が大きい結果となった。流量収支ではほぼ 0 の状態で、スマートメーターの水需要がある状況も確認できるため、こうした部分は、超音波流量計同士の機器の差があると考えられる。

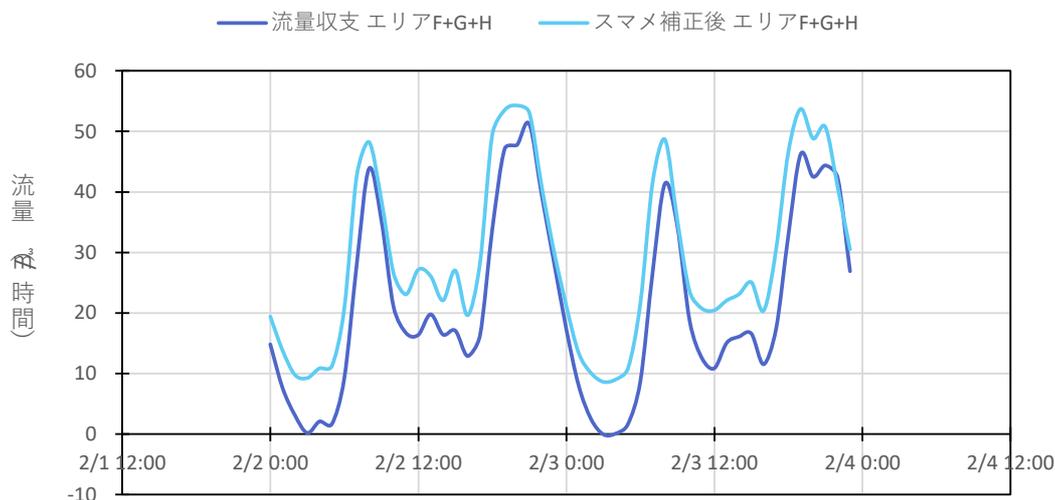


図 3-12 エリア F+G+H における流量計収支とスマートメーター集計値の比較

(6) エリア C+D+E+F+G+H

広い範囲のスマートメーターについて、少数の超音波流量計との比較をするため、エリア C+D+E+F+G+H での検討を行った。傾向としては同様だが、流量収支の方が大きくなっている。また、スマートメーター集計値を右上方向にずらした場合に非常に傾向の近いグラフとなったことから時間軸でのずれ (30 分程度) と、固定値的に発生している流量のずれが存在していると考えられる。

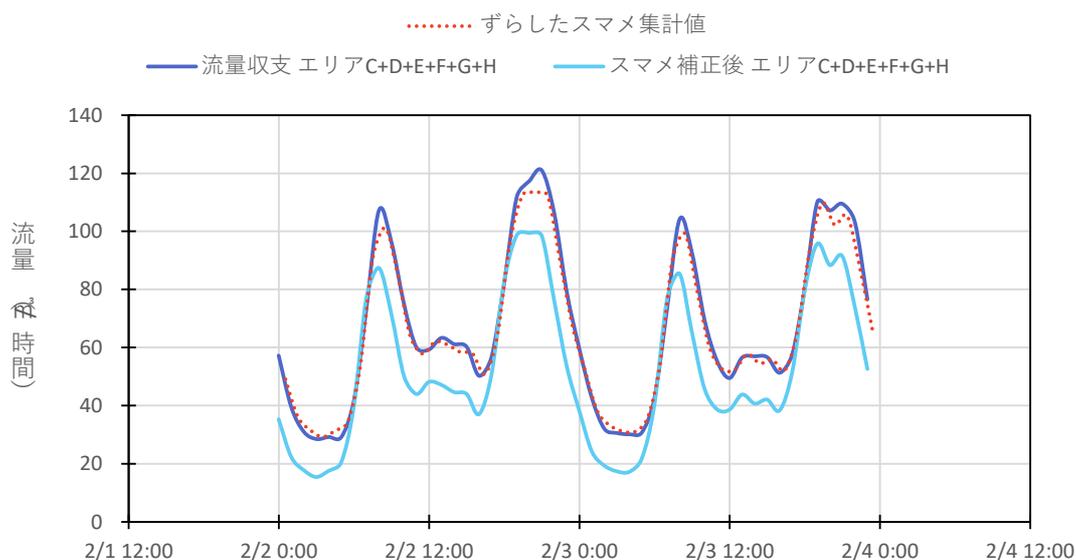


図 3-13 エリア C~H における流量計収支とスマートメーター集計値の比較

(7) まとめ

スマートメーターを含む各流量計について、流量の差の検討を行った。スマートメーターの器差を考慮して補正值を作成したが、流量への影響はあまりない結果となった。

超音波流量計と電磁流量計の差はさほど大きくないが、収支計算をして、エリアとしての水需要を出すとなると、スマートメーターとのずれが大きい。

超音波流量計は、超音波流量計同士でもずれがある可能性があり、エリア F+G+H のようにエリア収支の計算を行うとスマートメーターとのずれが大きくなる。

電磁流量計及び超音波流量計とスマートメーターの間には、流量に差があり、考えられる要素としては機器の差や、スマートメーターを通さない水の使用などが考えられるが、原因は特定できなかった。

(8) 各流量計の管網計算精緻化への活用方針及び流量値の取り扱い方針

超音波流量計は管網計算においては計算結果の確認（流向及び流量変化傾向）として使用が可能である。また、日常の運転管理においてはエリアにおける水需要の異常検知として利用することが考えられる。

管網計算に用いる流量値は、現状は電磁流量計の流量よりもスマートメーターの流量の方が小さいため、安全側での検討とするために、後述の 3.1.3 のとおり、電磁流量計の流量に近づくようスマートメーターの流量を補正することとした。

3.1.3 スマートメーターデータの補正

前述のとおり、スマートメーターと配水池流量で差が生じており、その差の原因を追究したが、未だに解明できていない。流量としては配水池流量の方が大きいため、管網計算としては安全側の検討をするために、スマートメーターの流量が配水池流量と一致するように補正を行うこととした。

分析対象とした期間（2022/10～2023/9）の中で最も流量が多かったため、補正は2022年度の時間最大配水量に対して補正を行った。

以下に日最大及び時間最大のタイミング及び流量を示す。スマートメーターと配水池流量で、流量には差があるものの、日最大及び時間最大のタイミングは変わらなかった。

表 3-1 日最大及び時間最大（2022/10～2023/9）

日最大	日付時刻	流量 (m ³ /日)
知波田配水	2022/12/31	1998.0
スマメ+リッチランド	2022/12/31	1741.9

時間最大	日付時刻	流量 (m ³ /時)
知波田配水	2022/12/31 18:00	128.0
スマメ+リッチランド	2022/12/31 18:00	117.6

リッチランド区域は、時間帯によってリッチランド中継ポンプ場による給水を行う時間帯と、リッチランド配水池からの自然流下によって配水する時間が存在するため、リッチランド中継ポンプ場自体に需要を持たせることで、リッチランド区域は管網計算の対象外としている。

そのため、上記の流量（128 m³/時、117.6 m³/時）からそれぞれリッチランド中継ポンプ場の流量 11 m³/日を引いてから、その比率を補正率とした。

$$\frac{(128 - 11)}{(117.6 - 11)} \cong 1.1$$

3.2 管網計算の方法

3.2.1 従来方式

1) 使用するソフト

管網計算は、水道施設設計指針に示される代表的な計算法および流量公式、流速係数に基づき、管網解析プログラムの EPANET2 を用いて以下の方法により行う。

1) 節点エネルギー法

2) 流量公式：ヘーゼン・ウィリアムス公式

○節点エネルギー法：

各節点において、水需要と標高を与えることで水圧を算出する方法である。

○ヘーゼン・ウィリアムス公式

流量公式のうち、最も代表的な公式

$$H = 10.666C^{-1.85} D^{-4.87} Q^{1.85} L$$

ここで

H：摩擦損失水圧 (m)

C：流速係数 (110)

D：口径 (m)

Q：流量 (m³/秒)

L：管路延長 (m)

このうち、流速係数 (C) は新しい鋳鉄管で 130、古い鋳鉄管で 100 というように管内の水の流れやすさを数値化したものである。

従来方式の管網モデルでは、慣習的に配水管形態における直管と異形管を含めて 110 を使用する。

表 3-2 流速係数の目安

代表的管種	C 値	管の内壁の状態
新しい塩化ビニル管	145～155	きわめて平滑
なめらかなコンクリート管	140	きわめて良好な鋳鉄管、使用した塩化ビニル管、遠心力セメントライニング管の下限値
新しい鋳鉄管	130	塗装しない状態
古い鋳鉄管	100	
極めて古い鋳鉄管	60～80	はなはだしい錆こぶ発生

2) 節点への水量配分

節点への水量配分は、知波田配水場からの時間最大配水量を分割小地域別の検針データに基づき案分し、案分された時間最大配水量を有効節点に均等配分した。

表 3-3 節点配分量

分割小 地域No	小地域名	有収水量 生活用 (m ³ /日)	有収水量 業務用 (m ³ /日)	有収水量 工場用 (m ³ /日)	有収水量 その他用 (m ³ /日)	有収水量 合計 (m ³ /日)	有収率	負荷率	時間係数
							92.84	77.2%	1.537
27	新所	24	0	0	0	24	26	33	51
29	新所	121	6	1	1	129	139	180	277
60	入出	390	57	6	57	510	549	711	1,093
63	太田	93	18	0	2	113	122	158	243
64	太田	124	48	0	2	174	187	243	373
66	大知波	288	33	0	11	332	358	463	712
67	利木	71	7	0	2	80	86	112	172
68	横山	37	9	0	0	46	50	64	98
69	大知波	23	2	0	0	25	27	35	54
合計		1,171	180	7	75	1,433	1,544	1,999	3,073

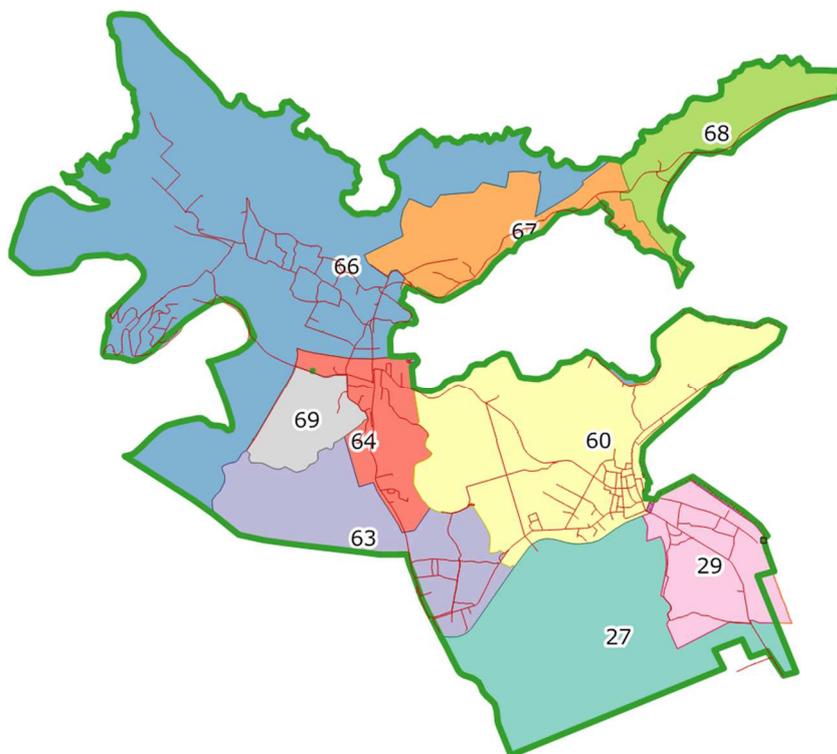


図 3-14 小地域

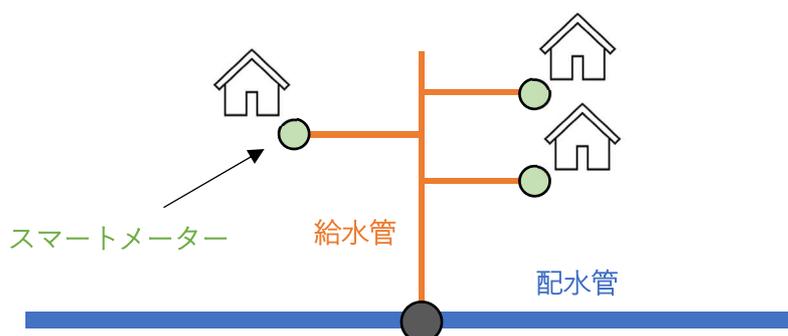
3.2.2 今回方式

今回方式であるスマートメーターデータを活用した管網計算について、節点への水量の配分方法が従来方法と異なっている。

前述の従来方法では、各節点への配分はある程度の区域での均等配分となっており、実際の使用状況を反映できていない。スマートメーターを使用することで 1 時間単位での実際の使用水量が明らかにすることができたため、今回方式ではスマートメーターデータを使い、節点の水量を設定した。

水の使用は各スマートメーター地点において行われており、管網計算の対象である配水管網上とは少し位置が異なるため、スマートメーターに紐づく配水管网上的節点を整理し、スマートメーターの水の使用量を各節点で集計することで、節点の水量を設定した。

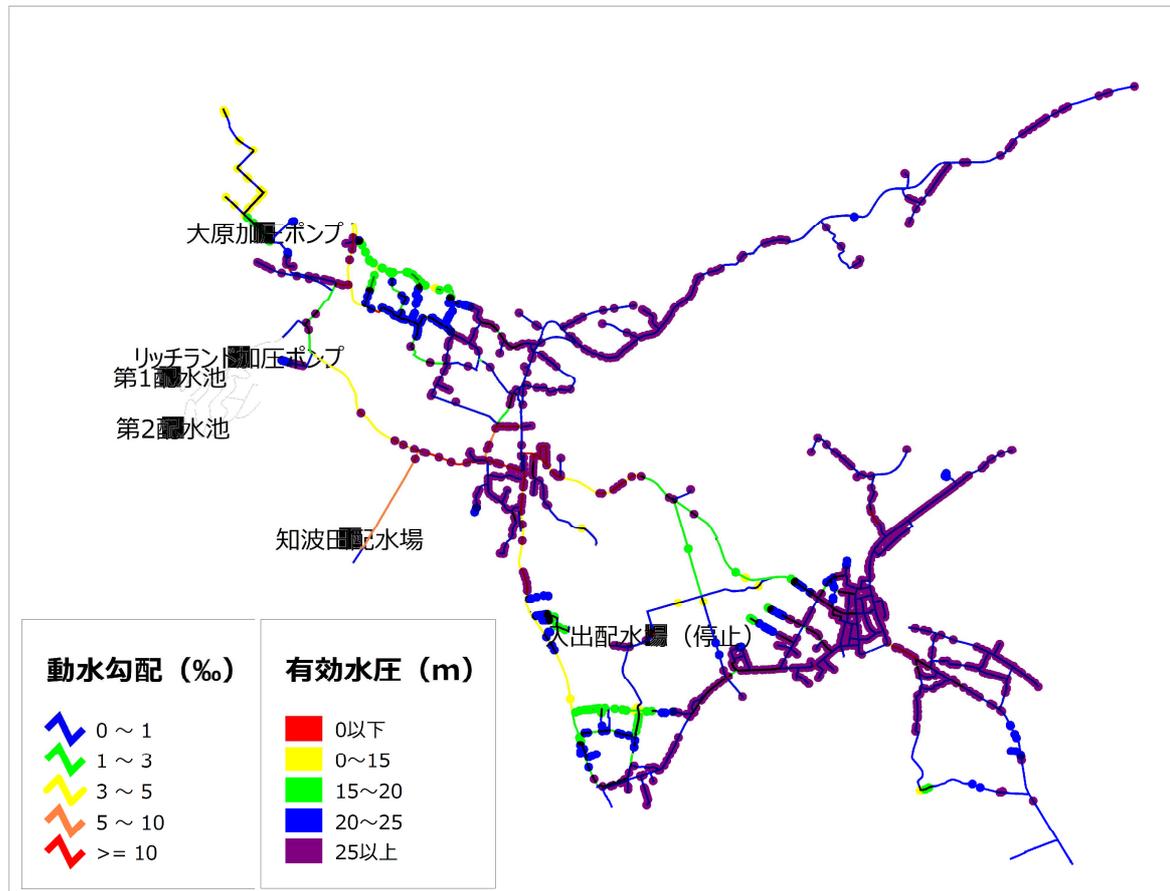
また、リッチランド区域は中継ポンプによる加圧により配水している時間帯と配水池からの自然流下により配水をしている運用のため、管網計算の範囲外とし、リッチランド中継ポンプ場を節点として、リッチランド中継ポンプ場を流れる流量を設定した。



3.3 管網計算結果（従来方式）

従来方式での管網計算結果を下図に示す。

節点有効水圧が0 mを下回っている地点が1箇所（入出配水場付近）あるが、市が使用者である。



節点 有効水圧	有効節点数	比率	備考
0 m未満	1	0.1%	(-4.6m)
0 m以上 5 m未満	0	0.0%	
5 m以上 10 m未満	7	0.5%	
10 m以上 15 m未満	24	1.7%	
15 m以上 20 m未満	91	6.4%	
20 m以上 25 m未満	191	13.5%	
25 m以上 30 m未満	534	37.7%	
30 m以上 40 m未満	560	39.6%	
40 m以上	7	0.5%	(最大42.8m)
有効節点数 計	1,415		

管路 流速	延長(m)	比率	備考
0 m/s以上 0.1 m/s未満	19,170	47.7%	
0.1 m/s以上 0.5 m/s未満	16,513	41.1%	
0.5 m/s以上 1.0 m/s未満	3,325	8.3%	
1 m/s以上 2 m/s未満	1,150	2.9%	(最大1.7m/s)

管路 導水勾配	延長(m)	比率	備考
0 %以上 1 %未満	28,070	69.9%	
1 %以上 3 %未満	6,577	16.4%	
3 %以上 5 %未満	3,606	9.0%	
5 %以上 10 %未満	1,034	2.6%	
10 %以上	873	2.2%	(最大60.5%)

図 3-15 従来方式での管網解析結果

3.4 管網計算結果（今回時間別データ活用）

スマートメーターモデルでの一日最大配水量記録日における時間最大配水時の管網計算結果を下図に示す。

従来方式と同様、節点有効水圧が0 mを下回っている地点が1箇所（入出配水場付近）あるが、市が使用者である。

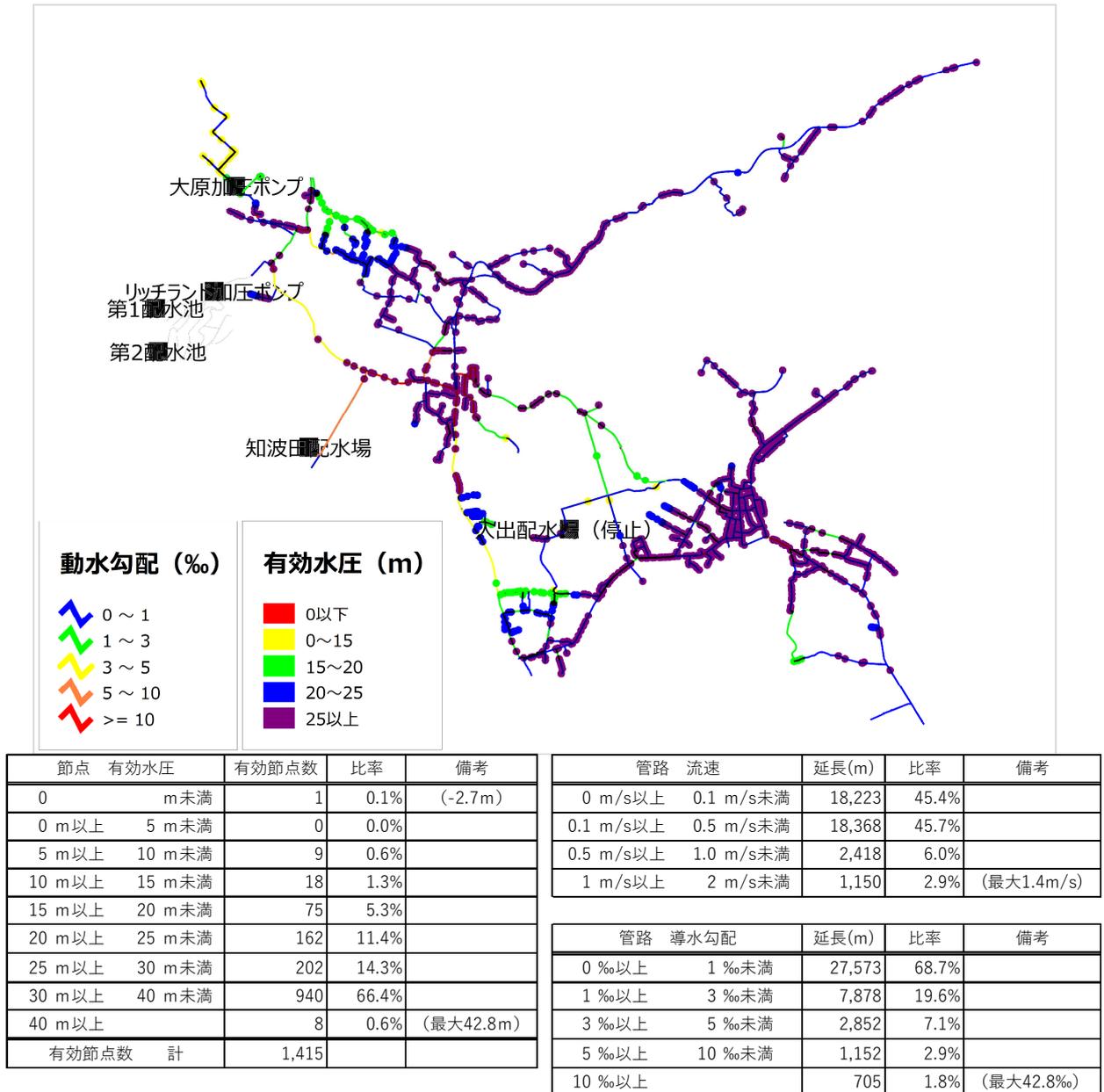


図 3-16 スマートメーターモデル（一日最大・時間最大配水量）での管網解析結果

3.5 スマートメーターデータを利用した管網状況の比較

本節では、スマートメーターの設置により行えるようになった詳細な管網状況の把握を行う。具体的には以下の「土日、平日」、「昼間、夜間」、「リッチランドへの送水の有無」の3つの観点から管網状況（水圧、流量）の違いを確認する。なお、大原加圧ポンプエリアについても水圧の比較を示しているが、実態としては中継ポンプの運転によって圧力制御が行われているエリアである。

3.5.1 水需要の傾向の可視化

始めに分析対象とする日時を設定するために、「土日、平日」、「昼間、夜間」で全体の水需要の傾向の違いを確認した。そのために、スマートメーター管網モデルに基づく知波田配水池からの流量データをヒートマップとして整理した。対象期間はデータの完全性が大きく向上した2022年11月からの1年間とし、曜日の影響に着目するため、祝日のデータは取り除いた。

ヒートマップは縦に曜日を横方向に何時台の時刻で整理し、平均値と中央値でそれぞれ整理した。結果を図3-17及び図3-18に示す。平均値と中央値で整理したが、全体の傾向や水量に大きな差はなかった。既知のとおり、水道の水需要のピークは1日の間に朝と夜で2回存在しており、朝のピークの時間は7時台であり、夜のピークの時間は18時台と19時台であった。

朝のピークに関して土日平日で違いがあり、平日は6～8時台がピークになっているが、土日については、6～9時台とピークが広がり、6時台の水使用が減り、8時台の水使用が増えていることが確認できる。ピークの値については、日曜日が若干低い、大きな差はない。夜間については、土日平日での違いはあまり見られなかったが、金曜日と土曜日のピークの値が他の曜日に比べて若干低く、週末に出かけるなどの人々の生活習慣が反映されている可能性が考えられる。また、朝と夜のピークについては夜の方が基本的に大きい。

ピーク以外の水需要の動向については、深夜時間帯は2時台にかけて大きく落ち込むが、昼間については、水需要が大きく落ち込むことはなく、50～60 m³/H程度で推移している。

ただし、知波田給水区域は給水区域内に時間帯によって配水方法が異なる区域を有しており、その区域ではリッチランド中継ポンプによる増圧をして配水している時間帯と、リッチランドの配水池からの自然流下によって配水している時間帯がある。このことを考慮すると、知波田配水場からリッチランド中継ポンプ場の流量を引いた水需要の方が、単純な需要としての傾向をより確からしく反映しているものと考えられる。

リッチランド中継ポンプ場の流量の平均値のヒートマップと知波田配水場からリッチランド中継ポンプ場の流量を引いた流量の平均値のヒートマップを図3-19と図3-20にそれぞれ示す。この図より、リッチランド中継ポンプ場は夕方ピーク時間帯の前15時台から16時台にかけて運転しており、基本的にピークを避けた運転となっていることが分かる。

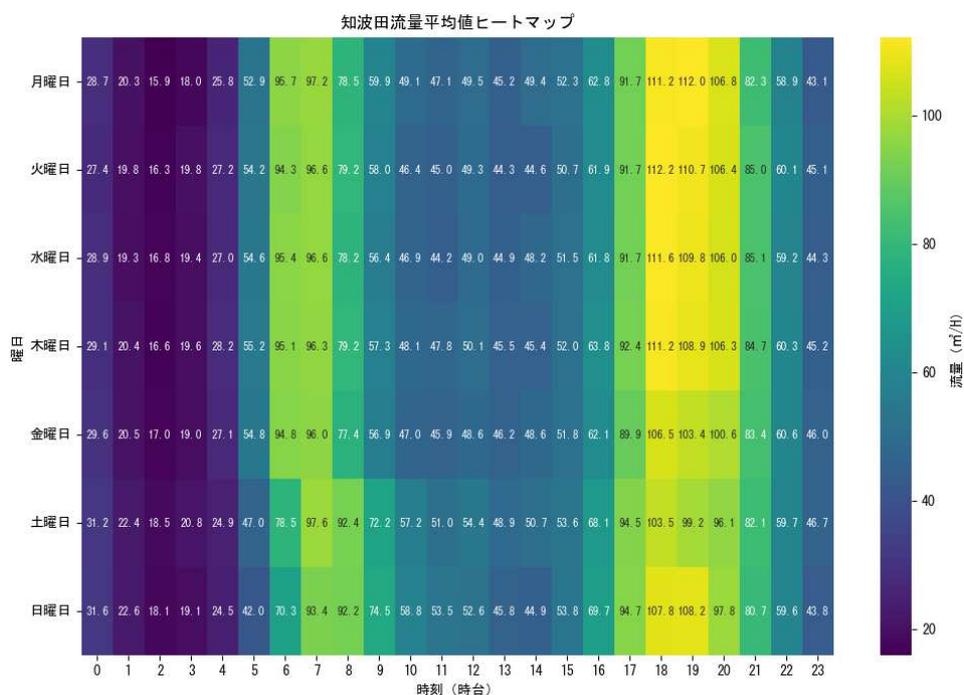


図 3-17 知波田配水池流量平均値（2022年11月から2023年10月）のヒートマップ

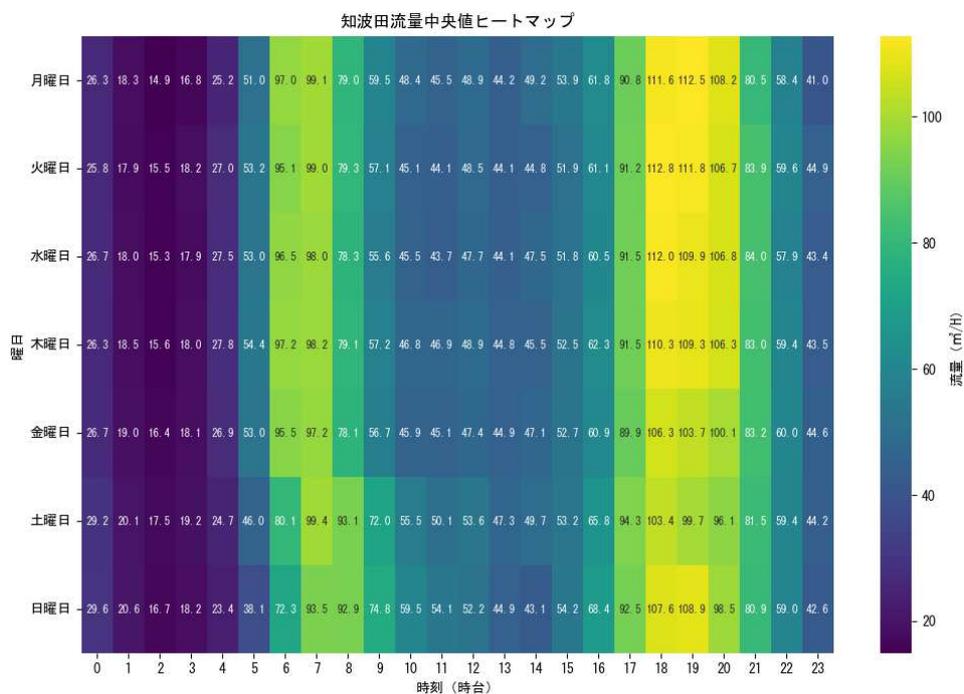


図 3-18 知波田配水池流量中央値（2022年11月から2023年10月）のヒートマップ

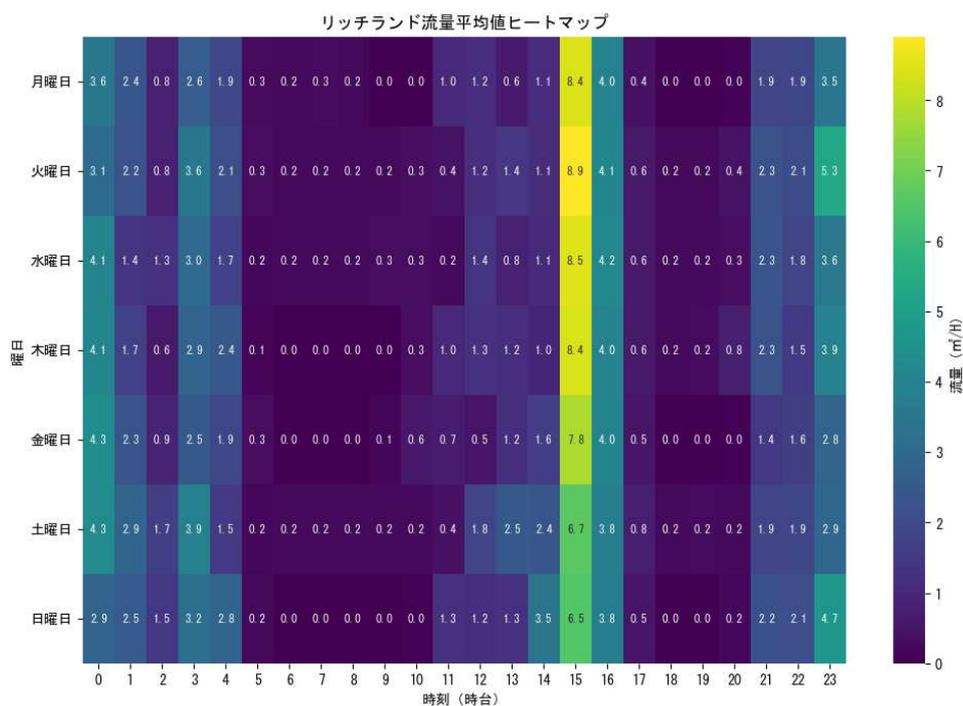


図 3-19 リッチランド中継ポンプ場流量平均値
(2022年11月から2023年10月)のヒートマップ

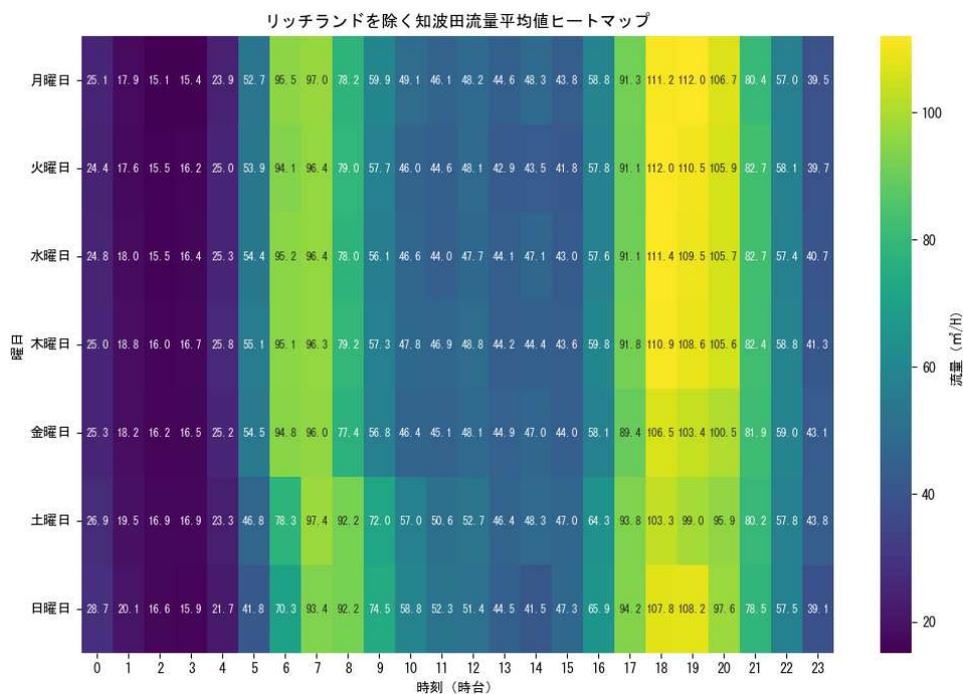


図 3-20 リッチランド中継ポンプ場を除く知波田配水池流量平均値
(2022年11月から2023年10月)のヒートマップ

3.5.2 比較タイミングの設定

前項 3.5.1 にて示したヒートマップより、以降で比較する管網計算結果を整理した。表 3-4 に示すとおり各観点について、流量が同程度の曜日・時間台を設定した。

表 3-4 比較対象時間の設定

条件	比較対象	曜日	時間台	知波田流量(m ³ /H)
①	土日	日	14	44.9
	平日	水	13	44.9
②	昼間	水	11	44.2
	夜間	水	23	44.3
③	リッチランドへの送水有り	土	15	53.6
	リッチランドへの送水無し	日	11	53.5

3.5.3 土日、平日での管網計算結果の比較

土日と平日の管網計算結果を比較した図を図 3-22 から図 3-23 に示す。それぞれ需要、流量、水圧を比較しており、流量と需要については比率を示し、水圧については比率で示した場合、標高による影響が大きいため差分で示した。

比較は前項で設定したとおり土日は日曜日の 14 時台、平日は水曜日の 13 時台として比較を行った。

水需要について、各節点の需要の比率を整理したが、各節点ごとの整理を行ったためか、路線や地域の中でも土日平日の水量の大小が異なっており、明確な傾向は確認できなかった。

流量について、横山方面は平日の流量が少ないが、大知波方面は土日の流量が少なくなっている。太田方面や入出方面については、末端方向の管路で平日の流量が少なくなっているように見て取れる。

水圧については、差分としては小さいものの地域による傾向が明確にあり、横山方面では水圧がほぼ同じ、大知波方面ではほぼ同じか、平日の方が高い。太田・入出・新所方面では土日の方が高くなっている。

なお、土日の方が流量の少ない大知波方面ではその分水圧の損失が減るため、水圧としては土日の方が高くなるように思われるが、管網計算における水圧損失は配水池から節点に至るまでの積み上げであるため、全体的な傾向として土日の流量が少なくなっても、水圧損失の大きな管路での流量が増えている場合、全体的な水圧としては土日の方が低くなる可能性がある。

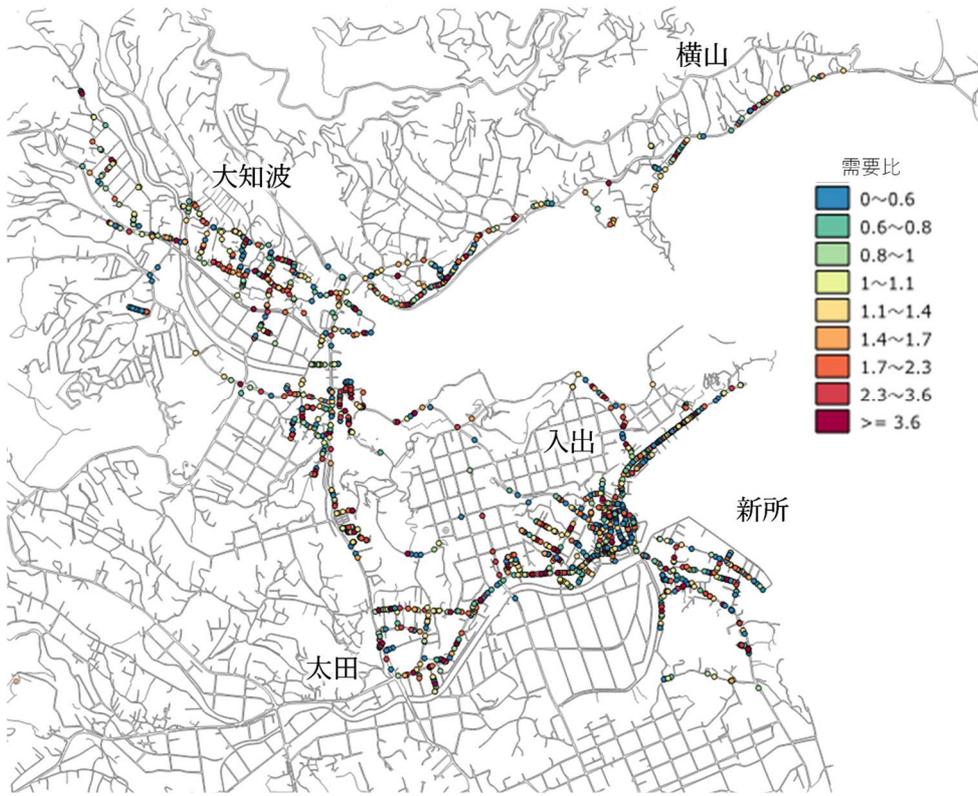


图 3-21 土日平日需要比率 (土日/平日)

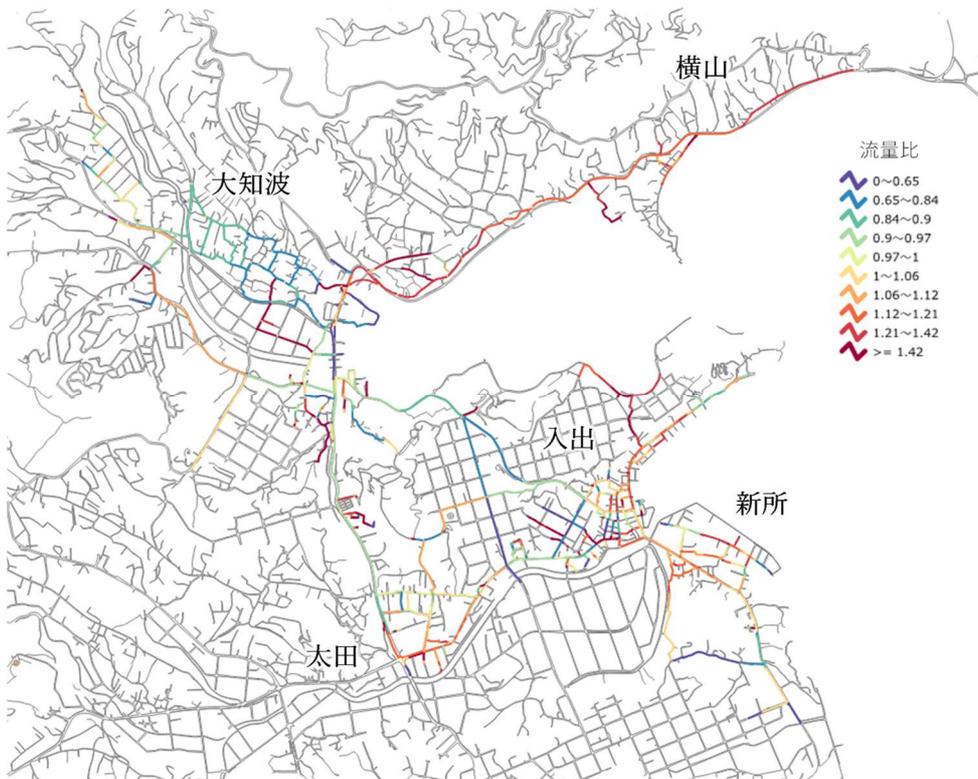


图 3-22 土日平日流量比率 (土日/平日)

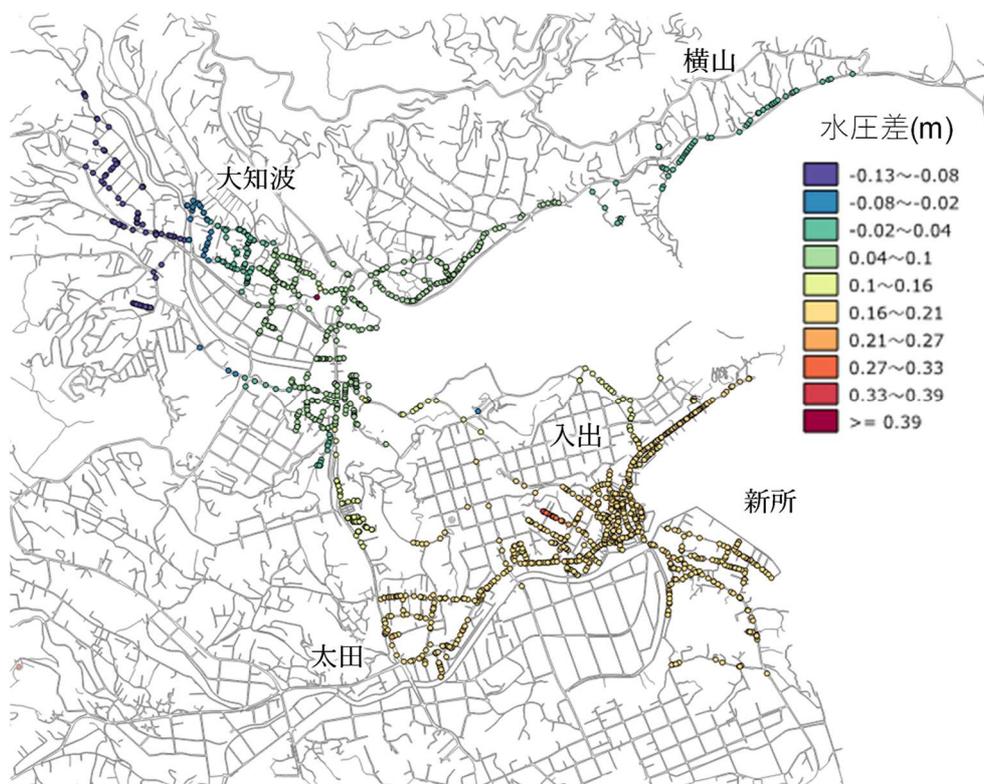


図 3-23 土日平日水圧差分 (土日－平日)

3.5.4 昼間、夜間での管網計算結果の比較

土日と平日の管網計算結果を比較した図を図 3-24 から図 3-26 に示す。それぞれ需要、流量、水圧を比較しており、流量と需要については比率を示し、水圧については比率で示した場合、標高による影響が大きいため差分で示した。

比較は前項で設定したとおり昼間は水曜日の 11 時台、夜間は水曜日の 23 時台として比較を行った。

水需要については、土日平日での比較と同様に地域の中でも水量の大小が異なっており、明確な傾向は確認できなかったが、個別の節点について、0~0.6 の青い点や 3.6 以上の赤い点が土日平日比較よりも、比較的多いため、各節点ごとといった詳細な観点からは昼間夜間での水使用には大きな差があることが考えられる。

流量については、大知波や新所で昼間の方が高い傾向を確認できた。

水圧については、大知波方面で昼間の方が高くなっており、その他の横山、太田、入出、新所方面は昼間の方が低くなっている。

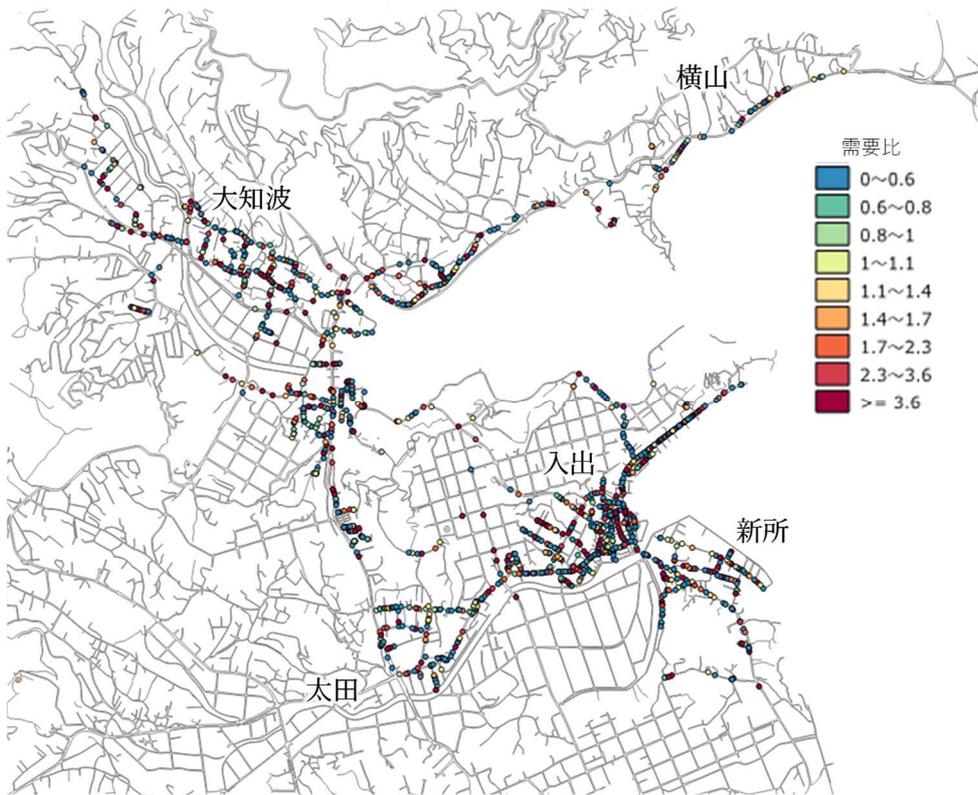


図 3-24 昼間夜間需要比率（昼間／夜間）

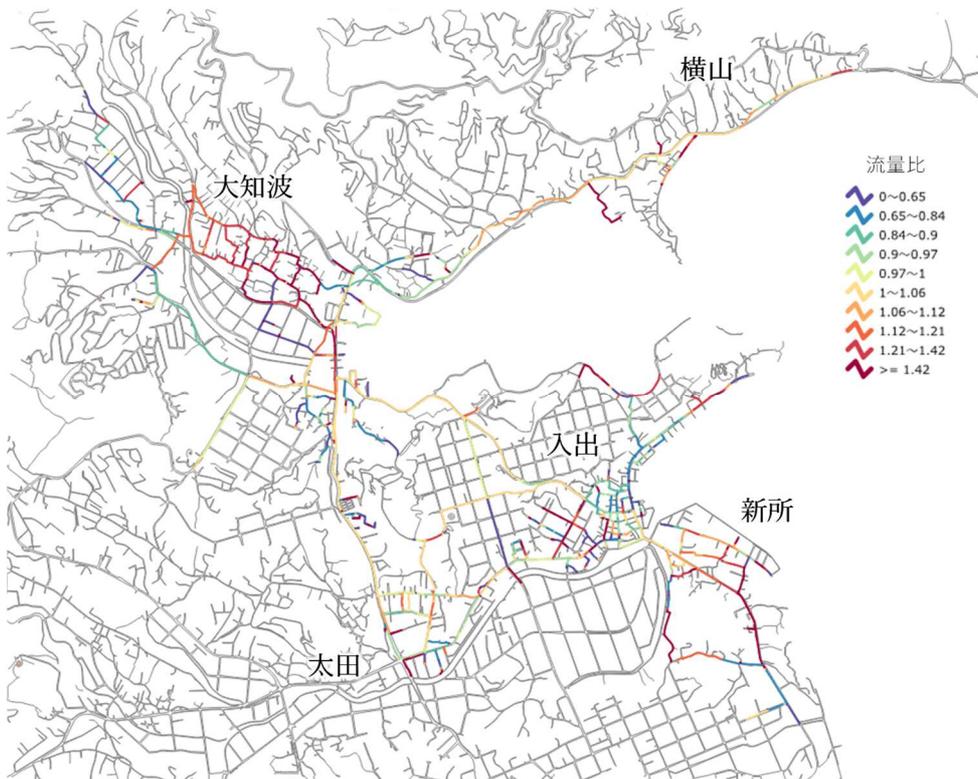


図 3-25 昼間夜間流量比率（昼間／夜間）

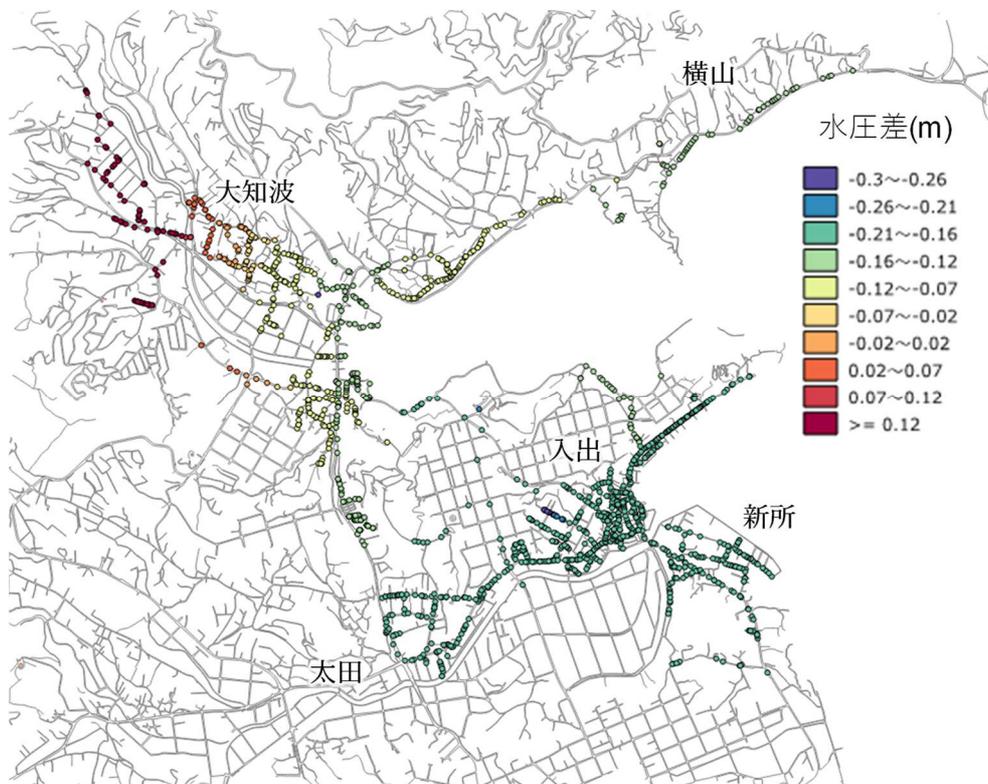


図 3-26 昼間夜間水圧差分 (昼間一夜间)

3.5.5 リッチランドへの送水有無による比較

土日と平日の管網計算結果を比較した図を図 3-27 から図 3-29 に示す。それぞれ需要、流量、水圧を比較しており、流量と需要については比率を示し、水圧については比率で示した場合、標高による影響が大きいため差分で示した。

比較は前項で設定したとおり、リッチランドへの送水有りは土曜日の 15 時台、リッチランドへの送水無しは水曜日の 11 時台として比較を行った。

水需要については、リッチランドへの送水分を含めて同程度の流量となる時期で比較しているため、送水有りの方が需要の低い節点が多くなるため、比較した図では需要比 0~0.6 の節点が目立つ。

流量についても全体的には送水有りの方が低くなっているが、新所や大知波の一部で高い流量比となっている管路がある。

水圧については、送水有りの場合には大知波方面の流量が増えるため、送水有りの大知波方面の水は低くなっており、反対に他の地域の水圧は送水有りの方が高くなっている。

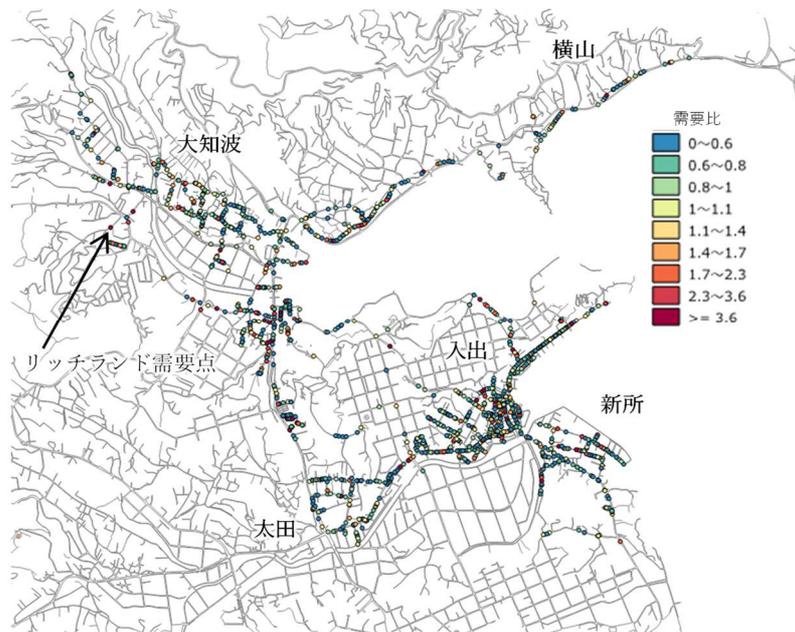


図 3-27 リッチランド送水有無需要比率 (送水有り/送水無し)

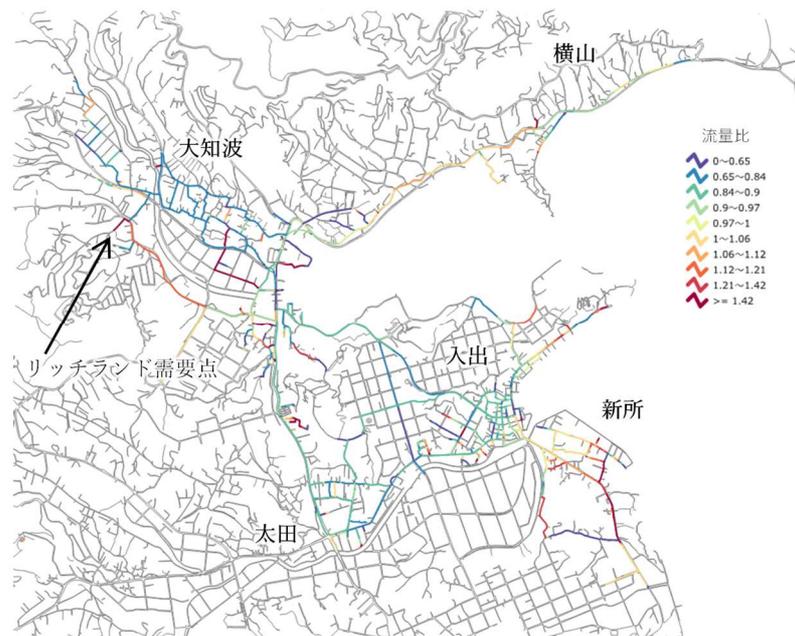


図 3-28 リッチランド送水有無流量比率 (送水有り/送水無し)

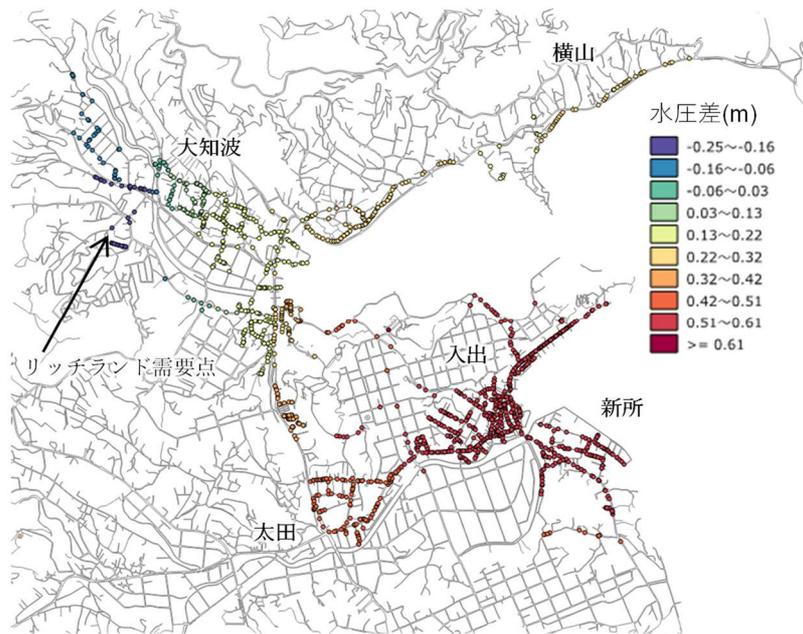


図 3-29 リッチランド送水有無水圧差分 (送水有り-送水無し)

3.6 スマートメーターデータの測定間隔による比較

本節では、測定間隔によるデータの違いを検証した。スマートメーターデータについては、測定方法やバッテリーの持ちの関係で基本的に1時間間隔での収集を行ってきたが、測定間隔の影響の確認のために、2023年11月において30分間隔での取得を行った。

30分間隔で測定したデータについて、1時間間隔での集計を行いデータの比較を行った。

図3-30に一つのスマートメーターにおける水需要について、30分間隔の測定値(時間当たり流量に換算)と1時間間隔集計値を比較した結果を示す。30分間隔でのデータの方が数値の変動が大きく、表示している期間中のピーク時などは、30分値では11/9 8:30 台の6.3 m³/Hであるが、1時間値では、30分間隔データの8:00 台と8:30 台の平均値となるため、4.5 m³/Hとなっており、一つのスマートメーターに着目した場合の30分間隔測定値と1時間集計値の差は大きい。

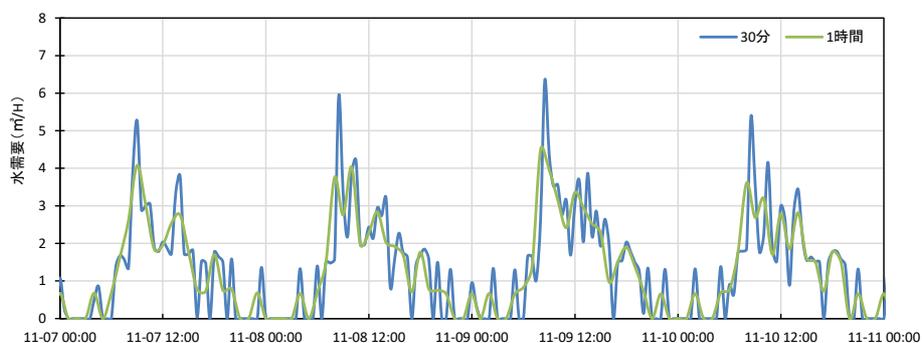


図 3-30 任意のスマートメーターにおける水需要

スマートメーター全体の需要水量の合計を対象として、比較した結果を図3-31に示す。全体で値を見た場合には、測定期間による影響は緩和され、期間中の合計水需要の最大値の11/30 19:30 台での112 m³/Hに対して、1時間集計値は107 m³/Hとなっている。

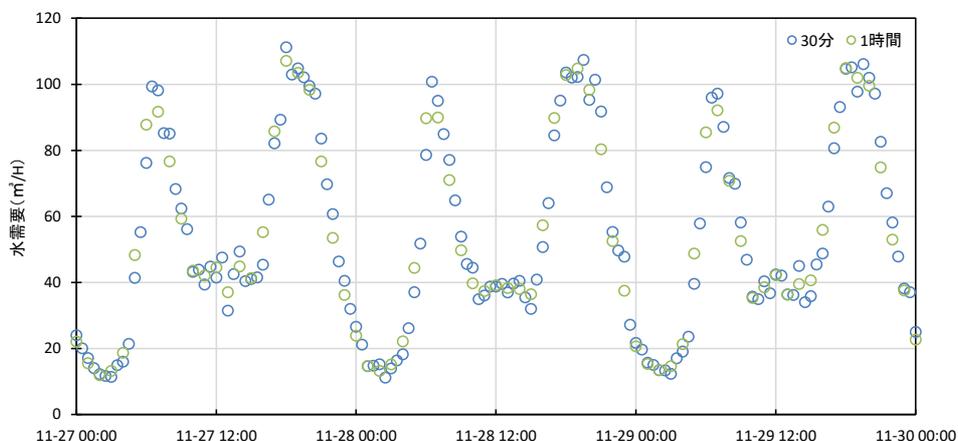


図 3-31 スマートメーター全体の水需要

4 使用水量の把握による管路口径の適正化

スマートメーターデータを用いた使用水量の把握により、実際の配水量のピークが従来方式での管網計算よりも精緻に把握可能である。

本章では、従来方式を元に適正口径を検討した場合と、今回モデルを元に適正口径を検討した場合とで、適正口径検討の精緻化が可能かを検証する。

4.1 検討条件

管網計算の方法は「3.2 管網計算の方法」を参照とする。

検討にあたり、現況管路では知波田配水場出口管路の口径が不足しており、水圧が低下することから、知波田出口管路を必要口径に増径したモデルとする。

また、エリア内で有効水圧が 15mを下回る地点が存在することから、検討に当たっては動水勾配が 1%以下の管路を口径が大きいものから順に 1 ランクずつ減径し、水圧 15m以下の有効節点が増えたらその前で検討を終了する。

4.2 従来モデルでの検討結果

従来モデルでの適正口径検討結果を図 4-1 に示す。

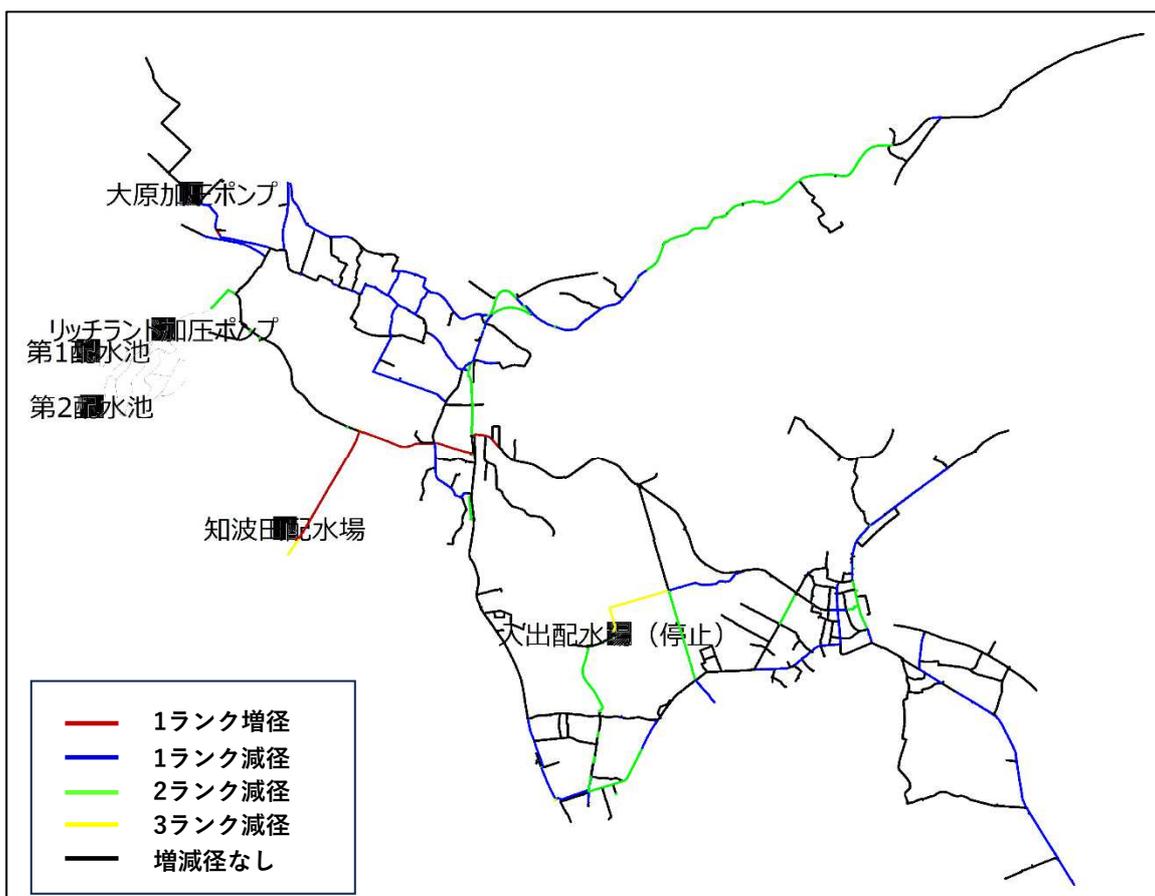


図 4-1 従来モデル適正口径検討結果

4.3 スマートメーターモデルでの検討結果

スマートメーターモデルでの適正口径検討結果を図 4-2 に示す。

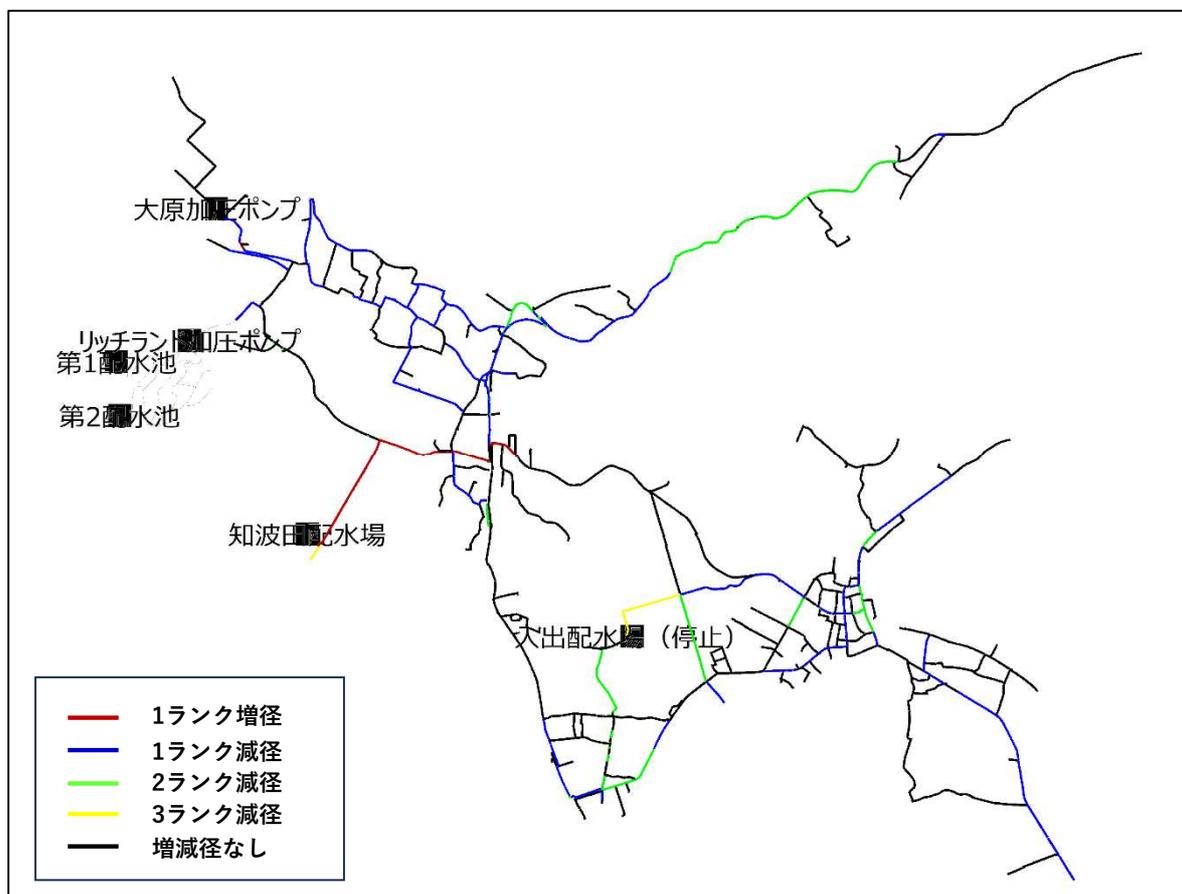


図 4-2 スマートメーターモデル適正口径検討結果

4.4 結果の比較

従来モデルとスマートメーターモデルで特に差が生じた箇所を以下に示す。

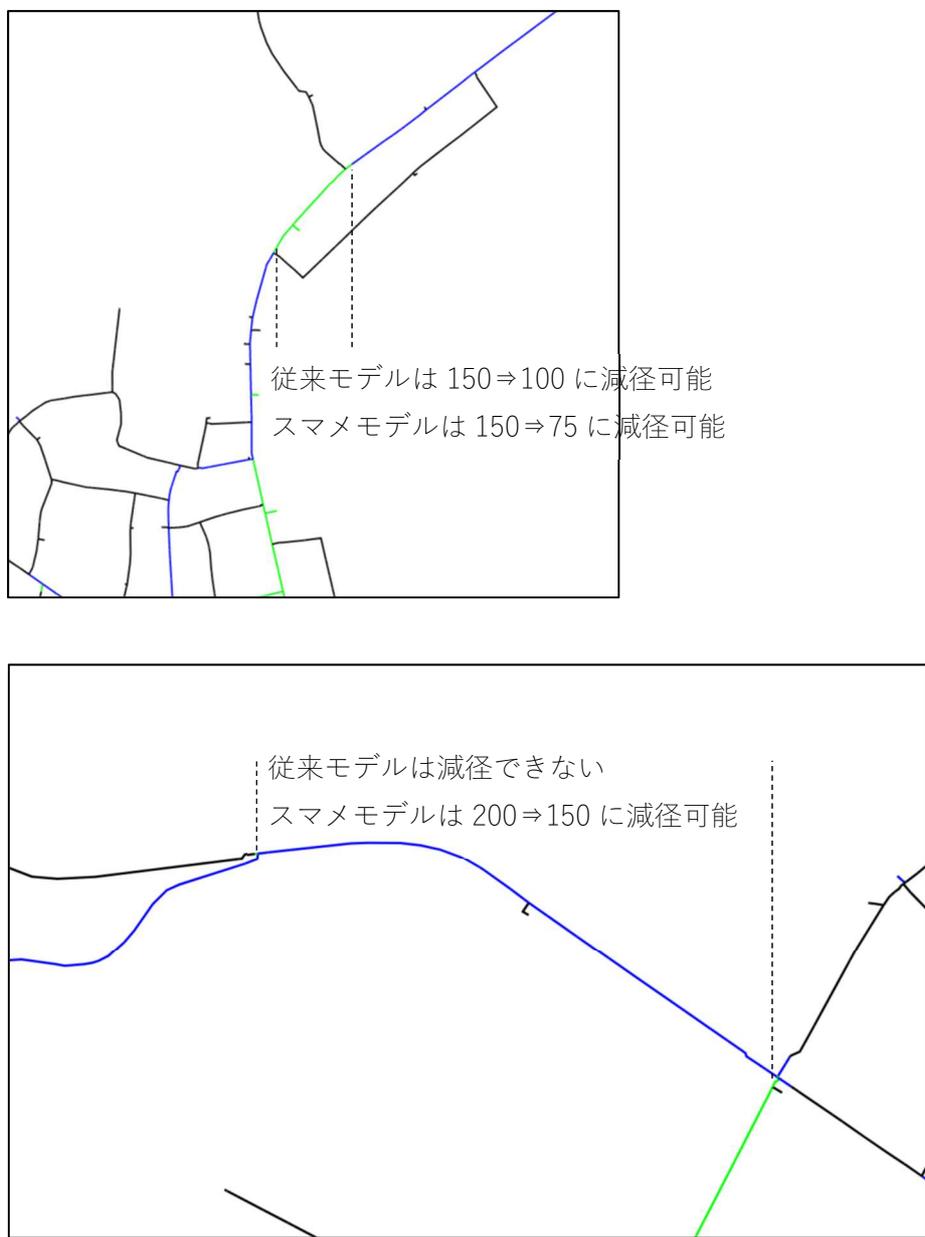


図 4-3 従来モデルとスマートメーターモデルで差が生じた箇所

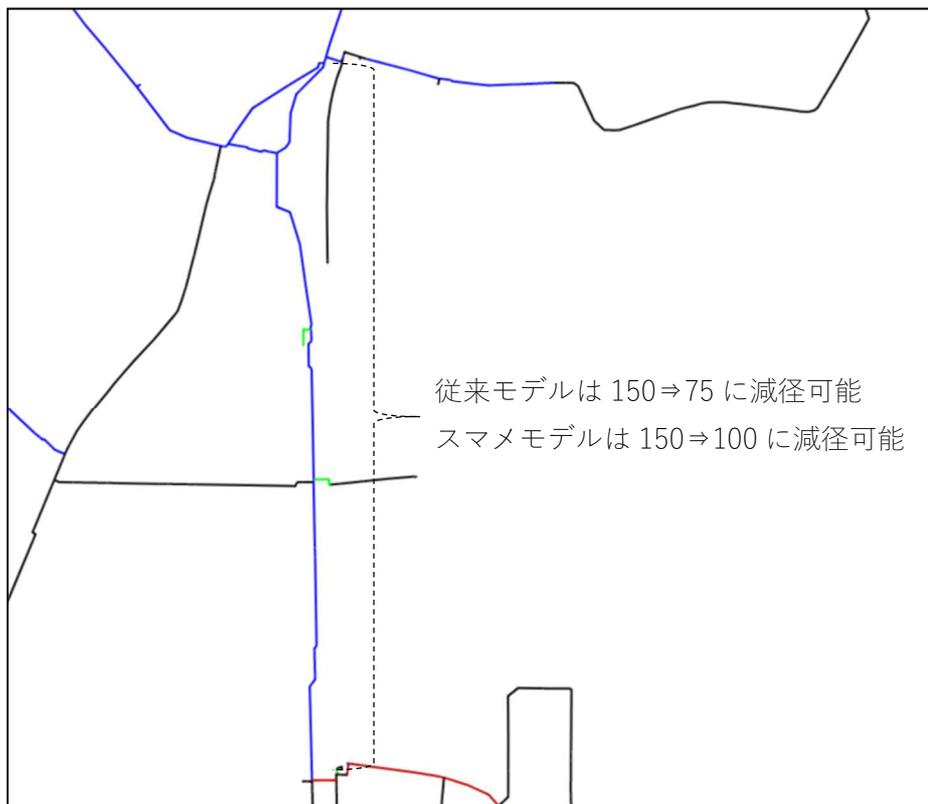


図 4-4 従来モデルとスマートメーターモデルで差が生じた箇所

図 4.3,4-4 で示すとおり、従来モデルよりも需要が低く減径効果のある管路及び従来モデルより需要が高く減径できない管路があることが分かった。スマートメーターデータを用いた使用水量の把握により、実際の配水量のピークが従来方式での管網計算よりも精緻に把握可能となり、現在の使用水量に即したモデルであるため、より高精度で適正のある管路口径を算定できたといえる。

今回は動水勾配 1‰以下の管路を減径対象、最小口径を 75mm として検討を行ったが、検討条件の変更により効果は変動する可能性がある。また、当該エリアは有効水圧が低いエリアがあるため大幅な減径ができず、消火栓設置の最小口径である 75mm の管路の割合が大きかったため、市街化区域等の口径の大きい配水管が多い地域で本検証を行えば、本実験地域以上にダウンサイジング効果が得られる可能性があると考ええる。

スマートメーターモデルによる精緻化の結果、ピーク需要時の計算流量が従来モデルと大きく変化する箇所については可視化することができた。

今後の課題として、今回ピーク需要時の1ケースでの比較を行ったが、他の水量が多い日でも同様の結果となるのか、違いがあるのか等を検証する必要がある。

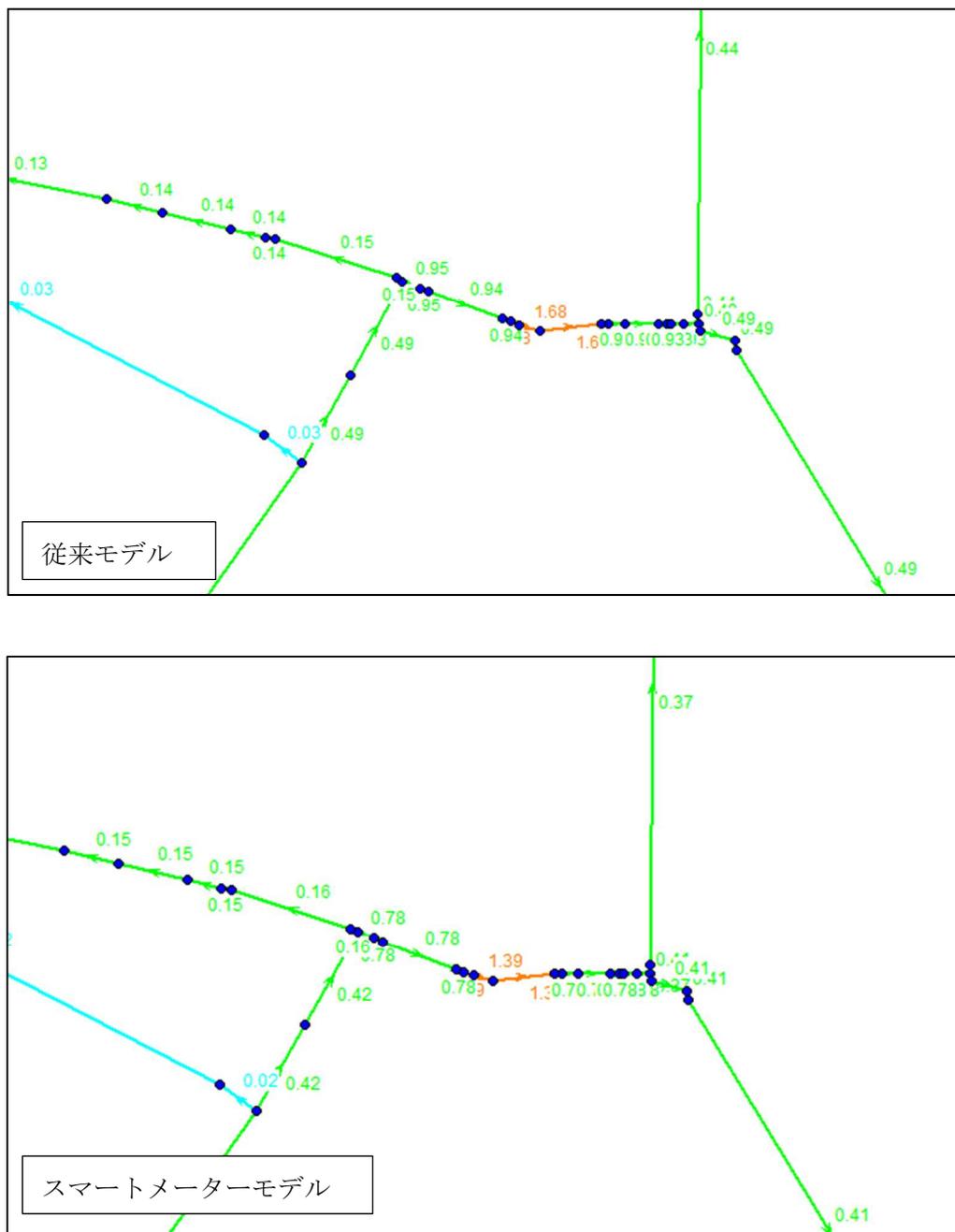


図 4-5 従来モデルとスマートメーターモデルで流速の違いが大きい地点 (大知波付近)

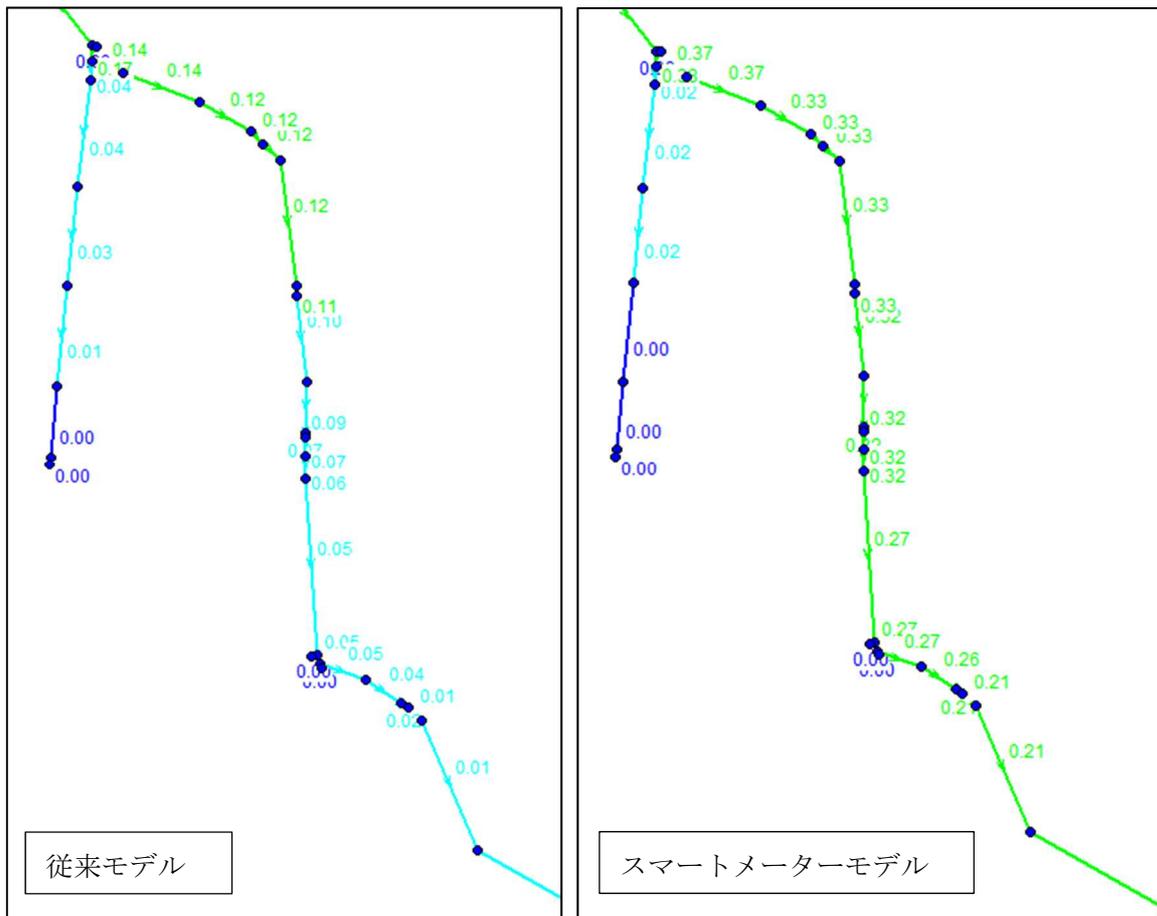


図 4-6 従来モデルとスマートメーターモデルで流量の違いが大きい地点（太田付近）

4.5 ピーク流量減少による管路口径適正化の検討

本節では、スマートメーターの設置により水需要の詳細な把握ができ、時間帯別料金といったピーク需要の抑え込みの施策が可能となった場合を想定し、ピーク流量減少時の適正管路口径及び更新価格へ与える影響について検討した。

基本的な検討条件は 4.1 で示したとおりとし、全体の水需要を一律で 10%減らし、スマートメーターモデルにおいて管路適正化を行った。

口径の変更対象とした管路については、従来モデルでの減径の条件である動水勾配 1‰以下を対象とした場合に、対象管路が無くなった後も減径の余地があったため、対象の管路の動水勾配は徐々に増加させていった。その結果、減径可能な管路のうち減径前の動水勾配の最大は 1.53‰となった。

検討結果を以下に示す。ピーク流量減少の効果によって、従来モデルと比較した際の更新価格が約 3,700 万円減少した。

更新価格の減少の内容としては、従来モデルよりも 1 ランク減径の管路や減径をしない管路が減る代わりに、2 ランク減少の管路が増えたことで、更新価格が減っている。

以上により、ピーク流量を抑制することで一定の更新価格減少効果が得られることが分かった。

なお、本効果は、市内全域の配水管約 430km に対して、実験対象地域とした約 40km の配水管における効果額を示している。このため、本検証を市内全域において行った際は、更なる更新価格減少効果が期待できると考えられる。

表 4-1 ピーク流量減少による更新価格の差

(千円)

	従来モデル 更新価格	スマメモデル (10%減) 更新価格
全体価格	2,403,481	2,365,771
従来モデルとの金額差	-	37,710

表 4-2 従来モデルとスマートメーターモデルでの増減径延長の差

(m)

対象延長	従来モデル	スマメモデル (10%減)	差分
1ランク増径	1,171	1,161	10
1ランク減径	8,663	7,221	1,442
2ランク減径	4,182	7,228	-3,047
3ランク減径	470	484	-14
増減なし	25,672	24,064	1,609

スマートメーターモデルの適正口径とピークシフト（10%流量減）時の適正口径を比較した結果を図 4-7 に示す。適正口径が変わった地点のうち、比較的延長が長い地点を黒丸で囲った。図中では 5 地点示しており、知波田配水場から大知波方面へ向かう管路の途中や、太田地区と入出地区の境目付近、入出地区と新所地区の境目付近で変化が見られる。

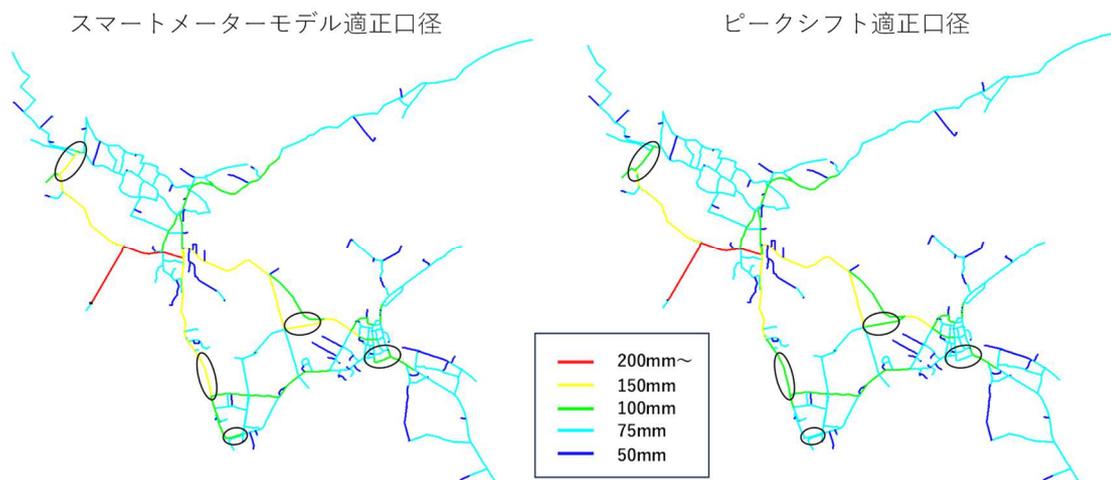


図 4-7 主な適正口径の変更位置

5 使用水量による残留塩素濃度の管理

本章では、スマートメーターデータを活用した残留塩素濃度管理の可能性について検討を行った結果を示す。

5.1 項では、本市における残留塩素濃度の分解反応における反応速度係数の検討、5.2～5.4 項では、反応速度係数を踏まえたスマートメーターデータを活用した管網解析検討を行った。

5.1 残留塩素の分解反応における速度係数の検討

5.1.1 残留塩素の減少反応

水道水中の残留塩素のバルク減衰反応は上記に記載した通り、次亜塩素酸 (HClO) や次亜塩素酸イオン (ClO⁻) 自体が分解して残留塩素とは異なる塩素ガスや塩素イオンとなる反応である。下記に残留塩素の減少反応を式 1) として示した。



この減少反応は一次反応として、進行していくことが知られている。反応式を下記の式 2) として示した。

$$C = C_0 e^{-k_b t} \quad 2)$$

ここで、C は t 時間経過後の残留塩素濃度 [mg/L]、C₀ は初期残留塩素濃度 [mg/L]、k_b は反応速度定数 [hr⁻¹]、t は経過時間 [hr] を表す。

式 2) の定数 k_b を求めることで、t 時間経過後の残留塩素濃度 C を求めることが可能となる。

5.1.2 アレニウスの式

反応速度定数 k_b は残留塩素濃度減少実験によって求めることが可能であるが、この値は水温によって変動する。この水温によって変動する反応速度定数 k_b を求めるため、アレニウスの式 3) を用いた。

$$k_b = A e^{-E/RT} \quad 3)$$

$$\ln k_b = \ln A - E/RT \quad 4)$$

ここで、A は頻度因子 [hr⁻¹]、E は活性化エネルギー [J/mol]、R は気体定数 [J/mol·K]、T は絶対温度 [K] を表す。

式 2) から算出した反応速度定数 k_b とサンプルの水温を絶対温度に置き換えた T を式 4) に代入し、未知数である頻度因子 A、活性化エネルギー E を計算し、反応速度定数 k_b と温

度 T の関係を関数として表記した。

5.1.3 採水地点の遊離残留塩素濃度測定

配水地や配水管の採水は 2023 年 8 月 23 日と 2023 年 10 月 11 日の 2 回に分けて行った。採水地点位置を図 5-1 に示す。採水した検水の遊離残留塩素濃度並びに採水時刻と採水時の水温を下記の表 5-1～表 5-2 に、採水箇所の写真を図 5-2～図 5-4 に示した。

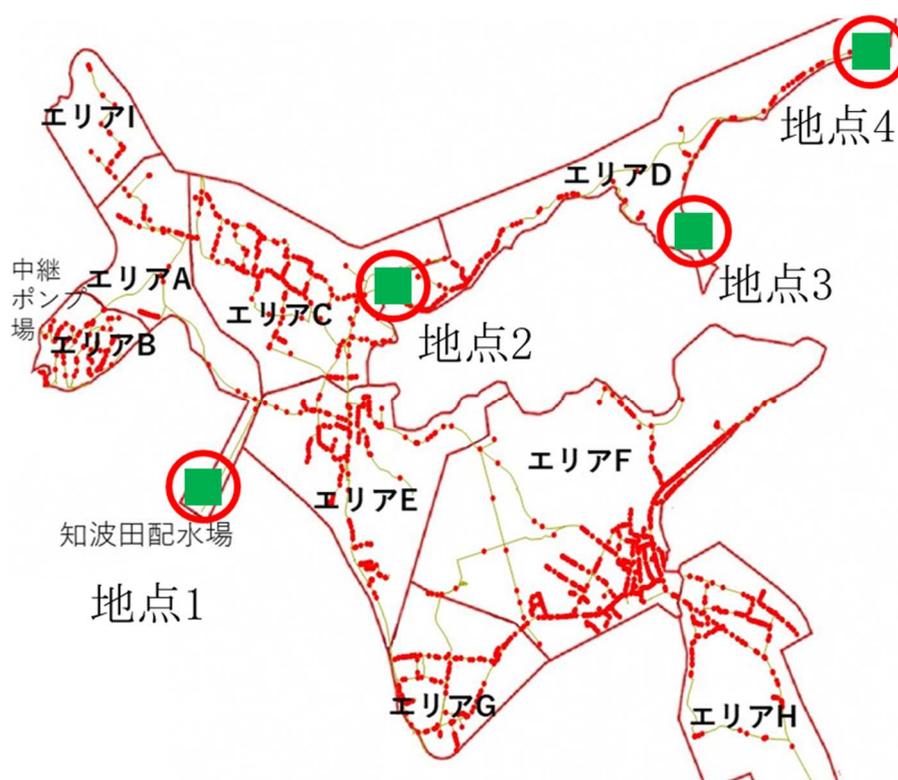


図 5-1 採水地点一覧

表 5-1 各地点の遊離残留塩素濃度，時刻，水温（2023 年 8 月 23 日）

採水地点	遊離残留塩素濃度 [mg/L]		採水時刻	水温 [°C]
	実験室	現地		
地点1	0.38	0.39	10:45	27.3
地点2	0.07	0.40	11:01	31.4
地点3	0.25	0.37	11:16	30.6
地点4	0.15	0.23	11:25	33.5

表 5-2 各地点の遊離残留塩素濃度，時刻，水温（2023年10月11日）

採水地点	遊離残留塩素濃度 [mg/L]		採水時刻	水温 [°C]
	実験室	現地		
地点1	0.44	0.47	13:39	23.1
地点2	0.19	0.33	14:00	28.2
地点3	0.32	0.34	14:31	29.6
地点4	0.25	0.22	14:21	26.9



図 5-2 地点1：知波田配水場



図 5-3 地点2：超音波流量計設置地点



図 5-4 地点 3 : 横山公園トイレ

5.1.4 異なる温度条件下での遊離残留塩素濃度の減少実験

各温度条件下での時間の経過による遊離残留塩素濃度の減少実験を行い、各温度の反応速度定数 k_b を求めた。

知波田配水場で採取した残留塩素注入後の配水について、24 時間ごとの遊離残留塩素濃度を測定した。8 月 23 日に採水した検水を 5、15、25°C の測定に、10 月 11 日の検水を 10、20、30°C の測定に使用した。図 5-5 に 5、15、25°C の温度条件、図 5-6 に 10、20、30°C の温度条件の遊離残留塩素濃度減少実験の結果を示した。測定した残留塩素濃度と経過時間から各温度における残留塩素の反応速度定数 k_b を算定した。

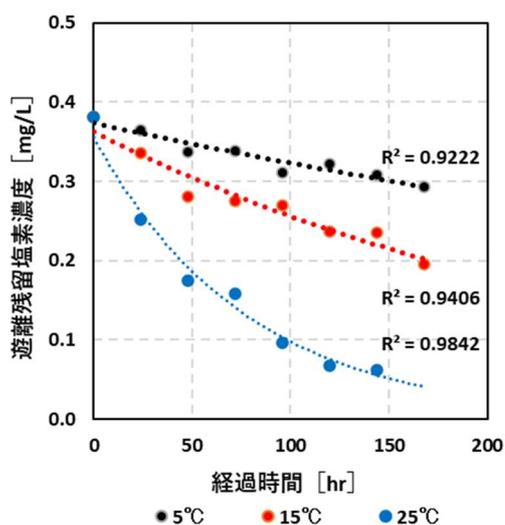


図 5-5 5,15,25°Cの時間経過による遊離残留塩素濃度の減少

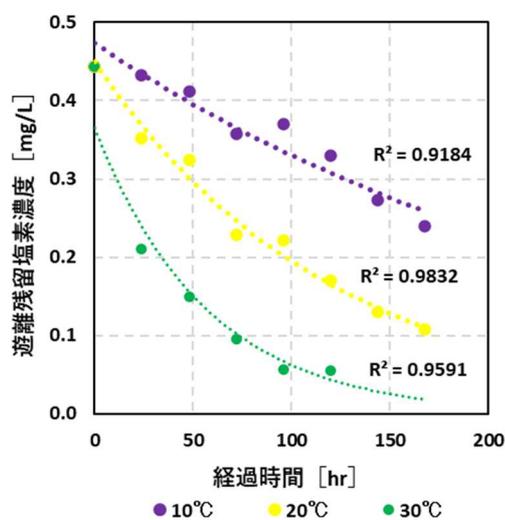


図 5-6 10,20,30°Cの時間経過による遊離残留塩素濃度の減少

また、各温度における遊離残留塩素濃度の減少実験結果から各温度の反応速度定数 k_b を算定し、表 5-3 に示した。

表 5-3 各温度条件の残留塩素の反応速度定数 k_b

温度 [°C]	5	10	15	20	25	30
k_b [hr^{-1}]	0.0016	0.0031	0.0039	0.0082	0.014	0.022

5.1.5 反応速度定数の検討

アレニウスの式 (式 3) を用いて、5.1.6 の残留塩素濃度減少実験から求めた反応速度定数 k_b と水温の絶対温度 T の関係を開数として表記した。

式 3) を式 4) へ変形させ、反応速度定数 k_b を自然対数として表した値を縦軸、絶対温度 T の逆数を横軸にとったプロット (アレニウスプロット) を行い、図 5-7 に示した。

式 4) を $y=a-bx$ 、 $a=\ln A$ 、 $b=E/R$ とし、プロットにより切片から $\ln A$ を求め A を算出、傾きから E/R を求めた。

結果を式 3) に入れ、反応速度定数 k_b と絶対温度 T の関係を開数として表した。5.1.6 で算定した各温度条件における残留塩素の反応速度定数 k_b の結果と水温の関係をアレニウスの式を用いて、開数として記した。

表 5-4 に温度条件とアレニウスの式から算出した反応速度定数 k_b を示した。回帰直線は、 $y=8785.5x+25.155$ となった。

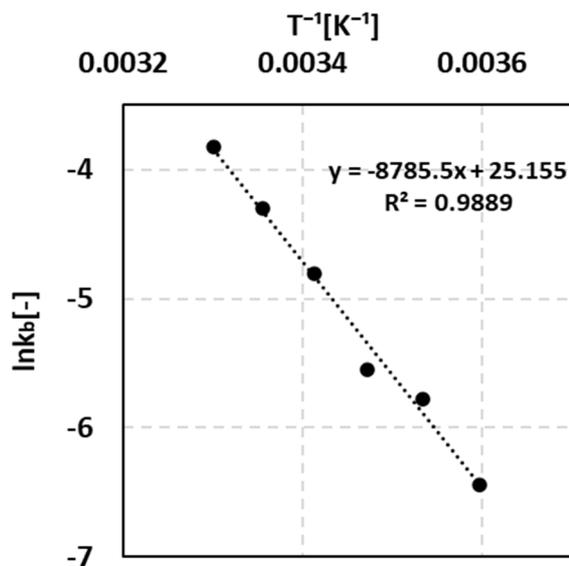


図 5-7 アレニウスプロット

表 5-4 温度条件とアレニウスの式から算出した反応速度定数 k_b

温度 [°C]	5	10	15	20	25	30
k_b [hr^{-1}]	0.0016	0.0028	0.0047	0.0080	0.0132	0.0215

切片 $\ln A = 25.2 \rightarrow A = 8.41 \times 10^{10}$ [hr⁻¹], 傾き $E/R = 8.79 \times 10^4$ [K] となり、

$$k = 8.41 \times 10^{10} \times \exp(-8.79 \times 10^4 / T)$$

と表すことができた。表 5-4 には、表 5-3 で示した各温度におけるアレニウスの式から算出した反応速度定数を示したが、実測した反応速度定数とほぼ一致し、アレニウスの式により、任意の温度での反応速度定数を計算できるようになった。

5.2 管網計算の条件

【分析対象期間】

分析の対象期間は水温の高い 2023 年 7 月～9 月を対象とした。

【管網モデル】

需要を含む管網モデルについては、スマートメーターデータを補正した 3 章と同様の管網モデルを使用した。

残留塩素の消費の要因としては、アレニウスの式に基づく液中での残留塩素の分解反応の他に、管壁（主に鉄錆）との反応による残留塩素の消費が考えられるが、知波田給水区域においては、ダクタイル鋳鉄管に内面塗装が施されるようになった 1955 年代以前のダクタイル鋳鉄管の割合が低い（1.3%）ため、本検討の中では管路壁面との鉄錆により残留塩素の消費は考慮しないものとした。

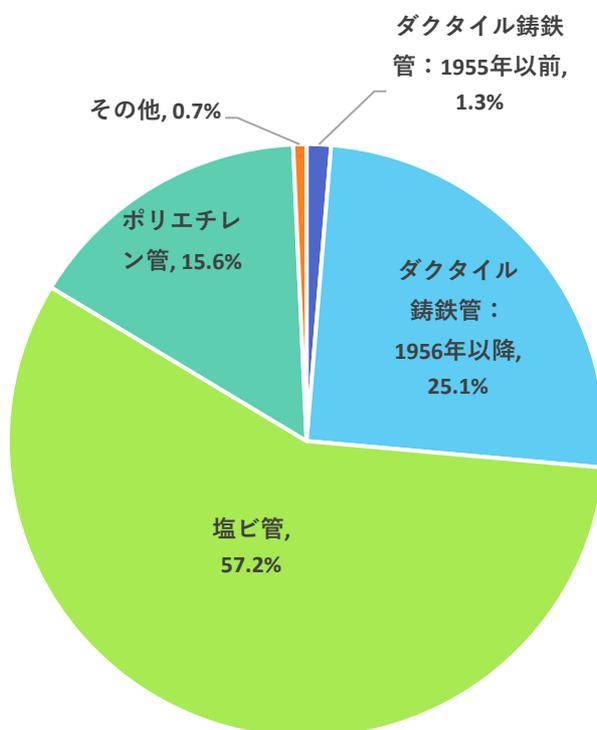


図 5-8 知波田給水区域における管種の割合

【k 値及び水温】

前述の分解反応の速度係数の検討結果より k 値はアレニウスの式に基づき温度によって変化するものとし、下記のとおりとした。

$$k = e^{\ln A} \times e^{(-E/RT)}$$

$$k = e^{(25.155)} \times e^{(-8785.5/T)}$$

T：絶対温度 (K)

k 値に関わる水温については、実測水温より 26℃、31℃、36℃の 3 条件を設定した。

なお、前述のアレニウスの式に基づく、水温と k 値の関係、及びひとつの反応容器内における水温ごとの残留塩素の確保時間 (0.4mg/L の残留塩素が 0.1mg/L まで減るのにかかる時間) は下記の図のとおりとなる。

また、参考として NewEpoch プロジェクトの水源別の k 値の調査結果を記載した。NewEpoch プロジェクトにおける調査では、全国の浄水場における浄水を採水し、10±2℃で静置して、k 値を求めている。NewEpoch プロジェクトの知波田配水場と水源を同種の水源地であるダム湖の調査結果と比べると、知波田給水場の 10℃における k 値は 0.0028(H⁻¹)と低く、塩素消費量が少ない水源と言える。

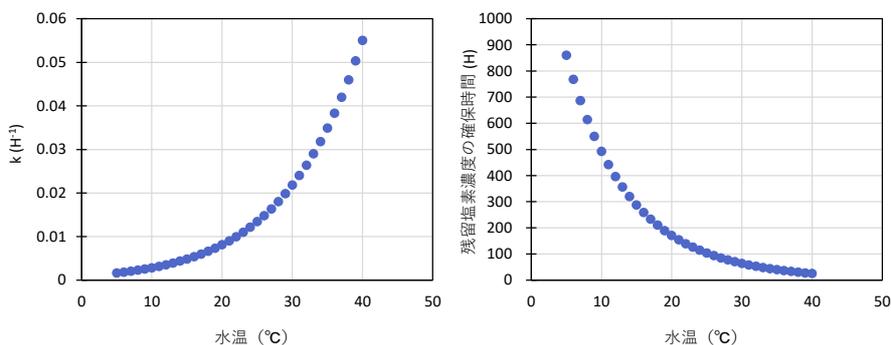


図 5-9 水温と k 値の関係 (左)、ひとつの反応容器内における水温ごとの残留塩素の確保時間 (0.4mg/L の残留塩素が 0.1mg/L まで減るのにかかる時間) (右)

原水区分	地下水	河川水	ダム湖	ダム湖+ 河川水	ダム湖+ 地下水	湖沼水	全体
k 値 (hr ⁻¹)	0.0098 n=15	0.0081 n=16	0.0092 n=12	0.0074 n=12	0.0042 n=1	0.0051 n=1	0.0085 n=57
24hr 残留塩素減少量 (mg/L)	0.059 n=15	0.110 n=16	0.124 n=12	0.122 n=12	0.073 n=1	0.143 n=1	0.102 n=57
TOC (mg/L)	0.24 n=15	0.69 n=14	0.67 n=11	0.67 n=6	0.70 n=1	0.47 n=1	0.54 n=48
E260 (mg/L)	0.013 n=12	0.030 n=16	0.019 n=12	0.039 n=12	0.008 n=1	0.029 n=1	0.026 n=54

■：全体の値以下

図 5-10 水源別の k 値、No.2008-07 管路施設の機能診断・評価に関する研究 (NewEpoch プロジェクト) 報告書 (H20.3)財団法人水道技術研究センターP3-51 より

5.3 取得データの整理・確認

本節では、残留塩素に関わる測定データとして、配水池及び管網の自動水質測定装置における、水温及び残留塩素濃度を整理した。

5.3.1 データの取得位置

知波田給水区域における自動水質測定装置の位置は下記の図において緑で示している 4 か所となっている。

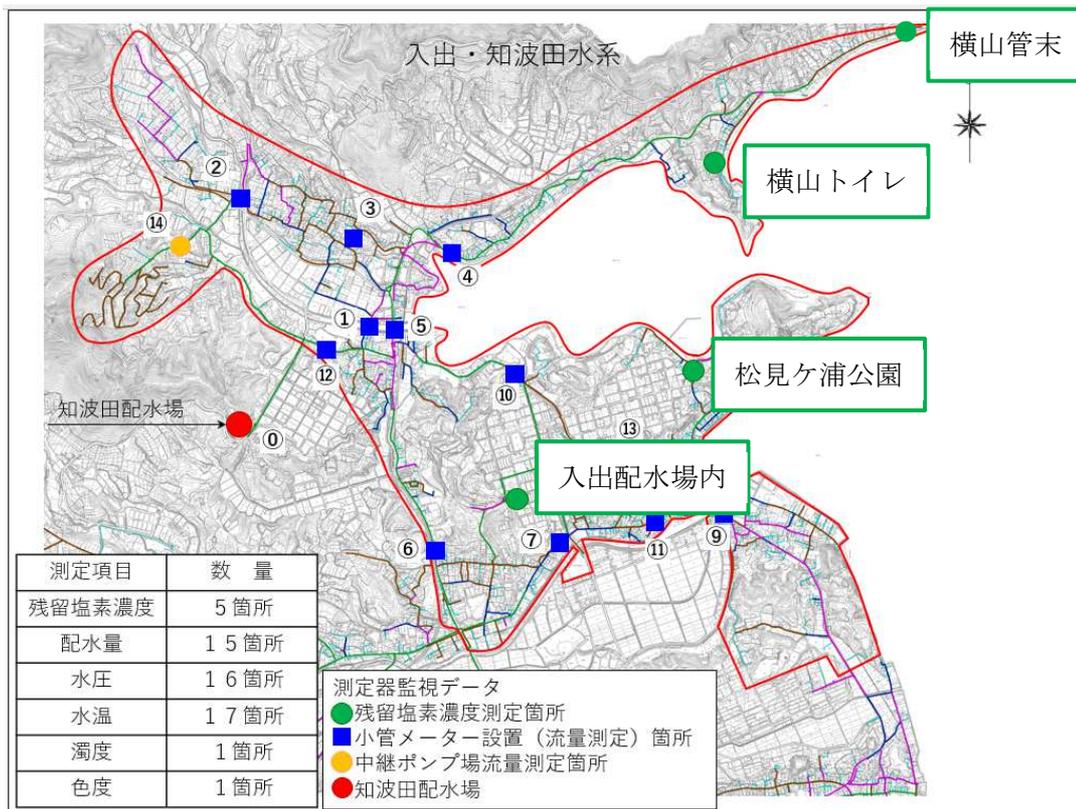


図 5-11 自動測定装置の位置

5.3.2 水温と残留塩素濃度の推移

図 5-12 及び図 5-13 に分析対象の全期間における水温および残留塩素濃度の推移を、図 5-14 及び図 5-15 に分析対象期間のうちの 2023 年 9 月 2 日から 4 日にかけての水温および残留塩素濃度の推移を示す。図 5-12 及び図 5-13 については見やすさのため、各日の 24 時時点の結果を示している。

水温について、配水池で 8 月 24 日頃まで負の値を示しており、機器の異常と思われる。また、残留塩素濃度について、松見ヶ浦公園で配水池よりも徐々に濃度が高くなっていく傾向のある期間や、横山管末において、濃度が一定や負の値となる期間があり、これらも機器異常によるものと思われる。

水温について、自動測定装置は大きな日変動が見られるが、配水池は大きな変化はなく、

自動測定装置の水温は日射や気温の影響を受けていると考えられる。

残留塩素濃度について、自動測定装置であっても水温ほど日変動は見られない。自動測定装置の残留塩素の濃度が配水池の残留塩素濃度と同じかそれ以上となっている期間が一部あるものの、そうした異常値を除けば、自動測定装置の濃度は配水池の濃度が影響している傾向があることが確認できた。

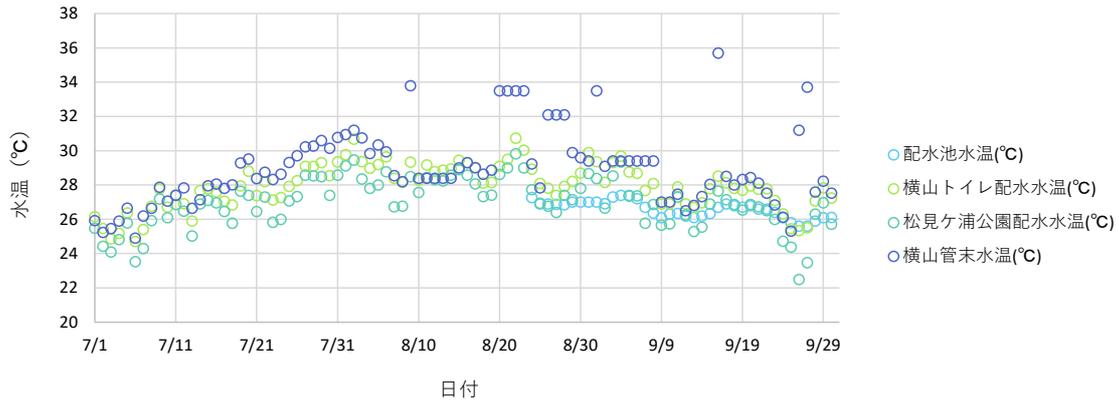


図 5-12 配水池と自動水質測定装置における水温の推移
(2023年7月～9月の各日の24時時点)

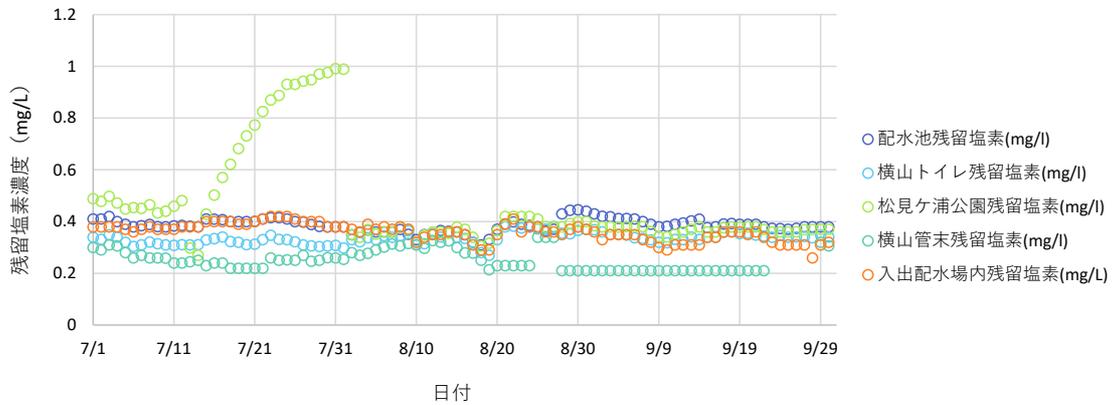


図 5-13 配水池と自動水質測定装置における残留塩素濃度の推移
(2023年7月～9月の各日の24時時点)

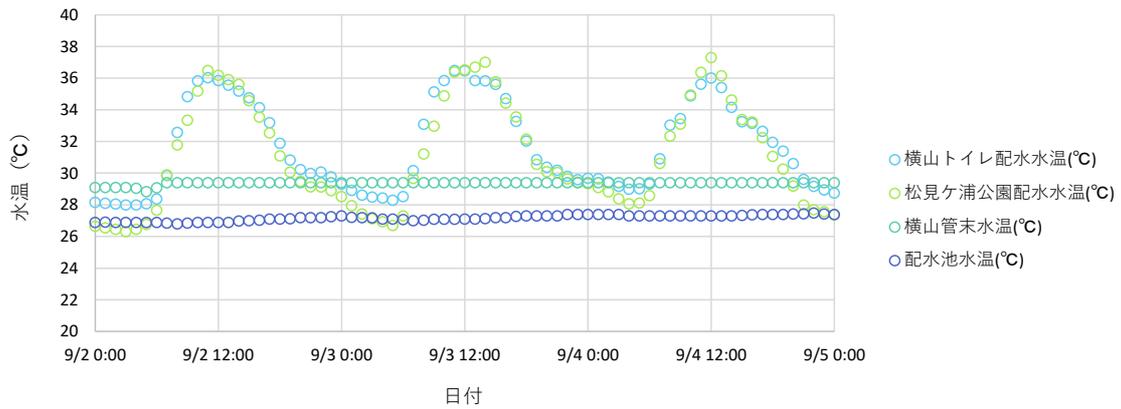


図 5-14 配水池と自動水質測定装置における水温の推移 (2023年9月2日~4日)

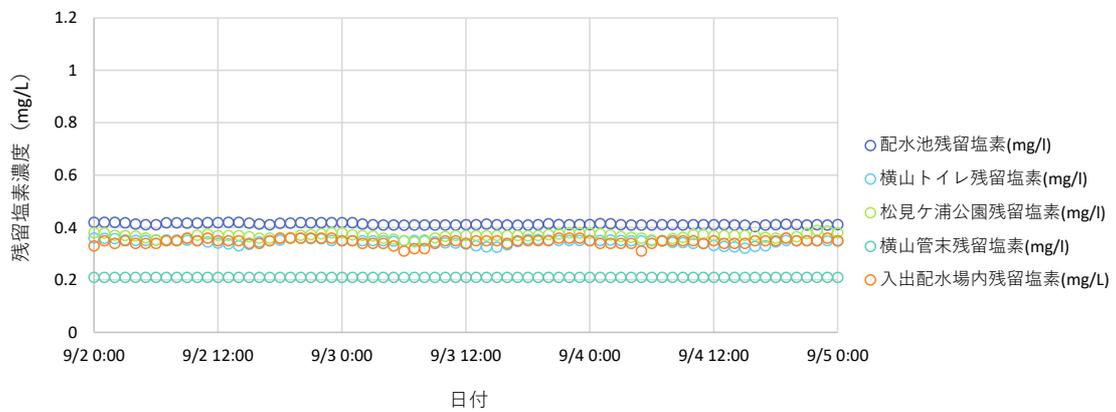


図 5-15 配水池と自動水質測定装置における水温の推移 (2023年9月2日~4日)

5.4 管網解析による残留塩素濃度の計算結果

5.4.1 実測値との比較

各自動測定装置の残留塩素濃度について、測定値と管網解析による計算値を比較した結果を図 5-16 から図 5-20 に示す。また、横山トイレについて 9/1~9/8 のみを示した図を図 5-17 に示す。各図には、配水池と自動測定装置の残留塩素濃度の測定値、各水温での残留塩素濃度の計算値を記載している。

横山トイレについては、7 月末までの期間や 8 月末から 9 月の中頃にかけては 26℃と近い結果となっている。

松見ヶ浦公園については、測定値が配水池とほぼ変わらず、計算値との乖離が大きい。8 月末から 9 月の中頃にかけては、26℃と近い結果となっている。

松見ヶ浦公園、横山トイレともに 7 月末から 8 月末にかけて、実測値が配水池の残留塩素濃度とほとんど変わっていない。また、9 月の中頃以降は、26℃の計算結果と配水池残留塩素濃度の中間ほどに実測値が位置している。2 地点で同様の傾向が見られることから、7 月末から 8 月末にかけては、配水池側の残留塩素濃度計に何らかの異常があった可能性が考えられる。

横山管末については、自動測定装置での測定結果に異常値が多くなっている。

入出配水場内については、8 月末ごろまでは配水池の測定値と自動測定装置の測定値が近くなっているが、以降は差がついており、9 月中旬を除いて測定値は 36℃の解析結果と近い値となっている。9 月中旬頃については、26℃での解析結果に近い。

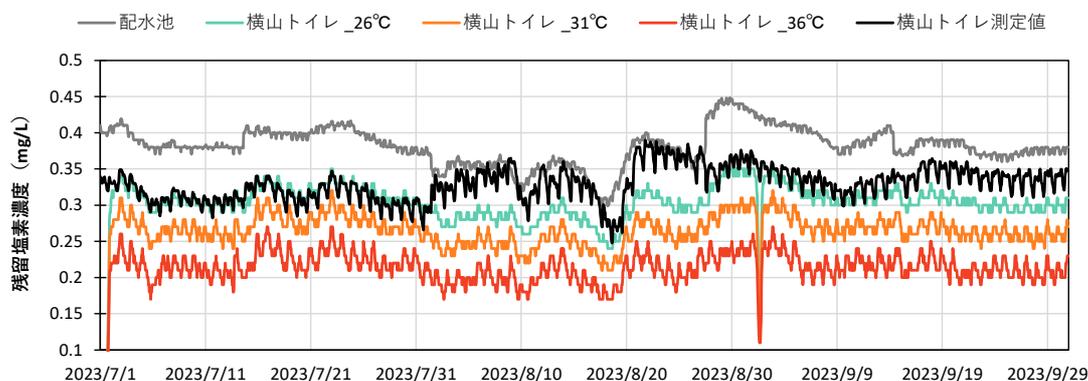


図 5-16 横山トイレの残留塩素濃度推移

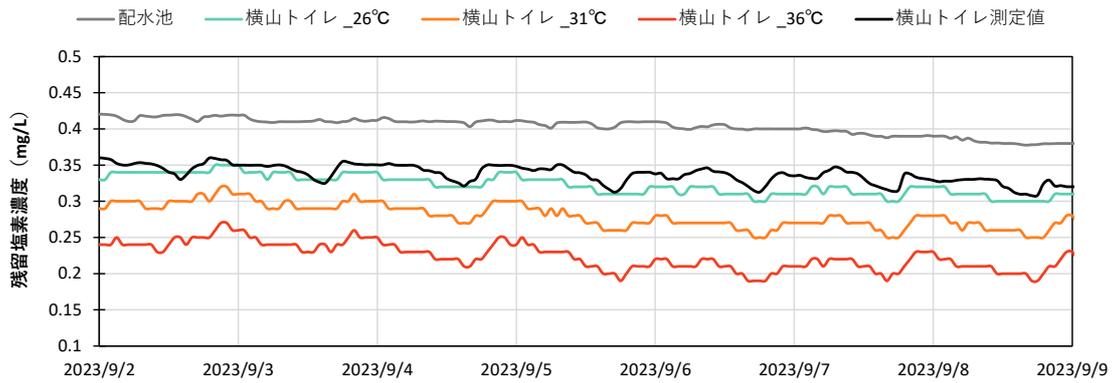


図 5-17 横山トイレの残留塩素濃度推移 (9/2~9/9)

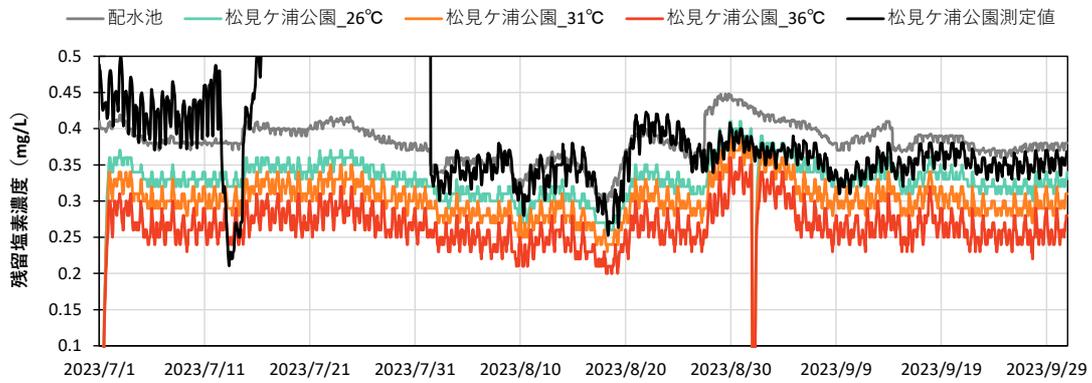


図 5-18 松見ヶ浦公園の残留塩素濃度推移

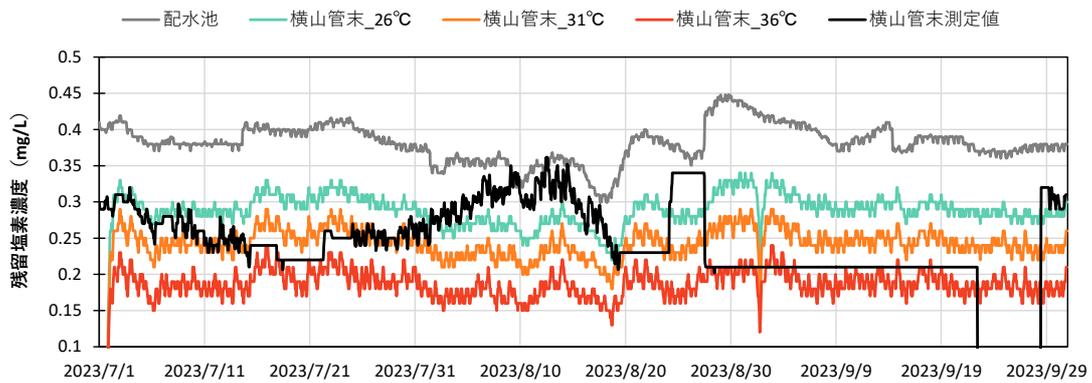


図 5-19 横山管末の残留塩素濃度推移

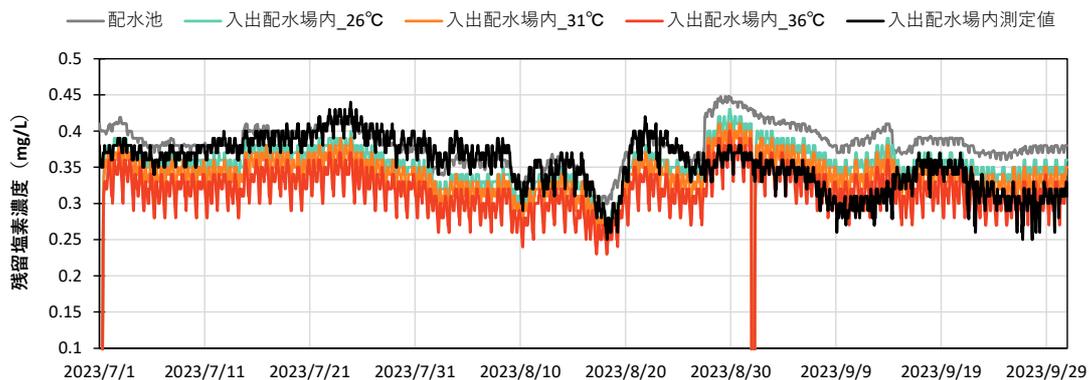


図 5-20 入出配水場内の残留塩素濃度推移

5.4.2 残留塩素濃度が低下する可能性のある地点

本項では、対象期間中の管網計算結果から、市民が使用している水の残留塩素濃度が低下する可能性のある地点を確認し、このような地点や水の利用方法に傾向はあるのかを確認した。

管網計算の条件については水温 26℃として、その他の条件は 5.2 と同様とした。管網解析結果のうち、各節点における取り出し需要が存在し、残留塩素濃度が 0.1mg/L 以下節点及び時間がないかを確認した。なお、解析の手法の都合上、分析期間の初期については、配水池から塩素が行き渡っていない状態のため、7/7 以降を対象に該当の節点及び時間がないかを確認した。

検討の結果、複数の地点で節点における取り出し需要が存在し、残留塩素濃度が低下する期間があった。下記に条件を満たした回数が上位 10 カ所の地点を示す。図 5-21 に示すように、給水区域内の様々な点で残留塩素濃度が低下している。場所によっては 4 など配水池に近い地点もあるものの、管路としては末端部分になっているために、その地点で水を使用していない期間が長い場合に、管路内で水が長時間滞留することとなり、残留塩素濃度が低下することになると考えられる。

残留塩素濃度が十分でない場合の一般的な対策としては、①配水池残留塩素の調整、②管網途中での追加塩素、③滞留場所での排水、④管路のループ化が考えられるが、今回明らかとなった残留塩素濃度の低下については、配水池位置からの距離が離れているといったハード面の要因によって発生しているものではないため、①や②による対策は効果的でない。④については、効果はあるものの整備に係る費用面の課題がある。③については有効である。その手法としては、手作業により排水を実施することも考えられるが、現在湖西市で実施している「水道スマートメーターの通信技術を活用した水道栓の遠隔開閉の実証実験」の結果を用いて、残留塩素濃度の低下が確認できる地点について、遠隔での定期的な排水の実施、あるいは、水の使用状況に合わせた遠隔での排水の実施を行うことが考えられる。

今後は、この結果をもとに残留塩素が低くなる可能性のある地点について、実際に残留塩素濃度を測定し、状況を確認する必要がある。

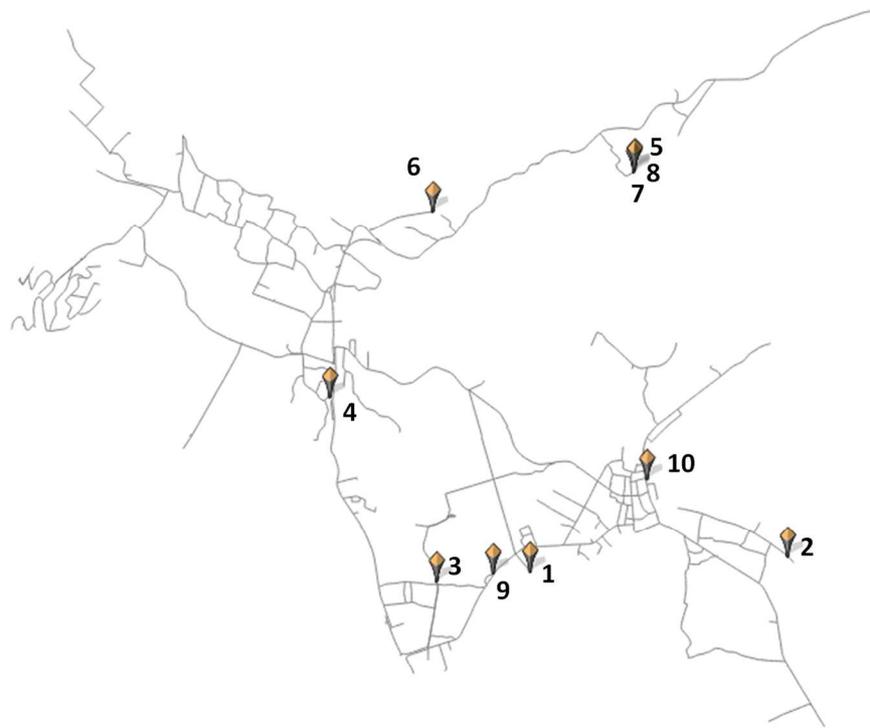


図 5-21 条件に該当した回数の上位 10 カ所

表 5-5 条件に該当した回数の上位 10 カ所

番号	JunctionID	条件に該当した回数
1	86854	651
2	86603	309
3	86952	121
4	84261	103
5	81058	78
6	81509	63
7	81036	56
8	81053	51
9	86885	31
10	84505	28

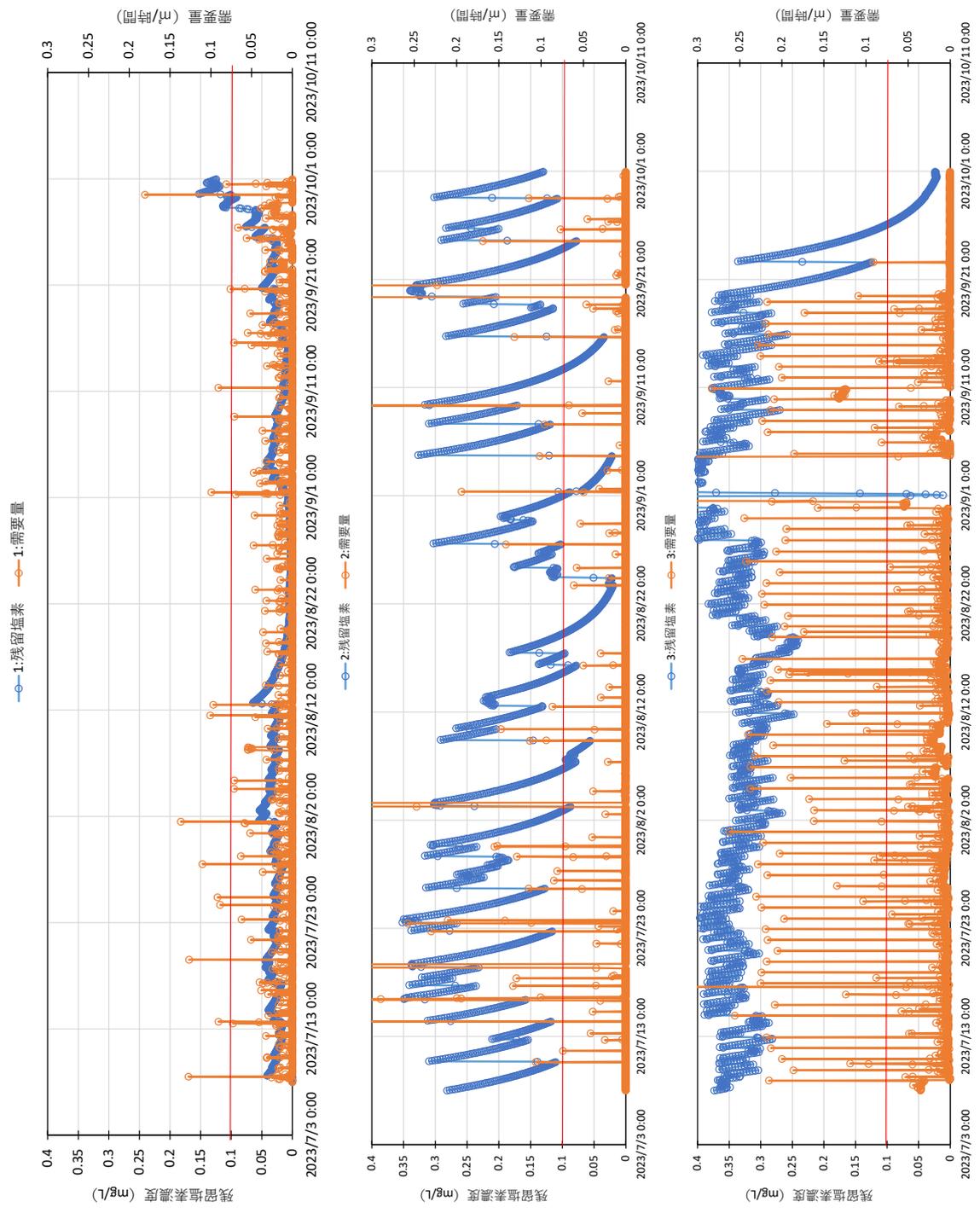


図 5-22 残留塩素濃度と需要量の推移 (1~3)

6 今後の展望

本共同研究では、スマートメーターを配水区域全域に設置し、情報通信ネットワークの構築を行いほぼ 100%のデータ取得を行うことができた。また、取得したデータを活用して官網計算を行い、これまでの管網計算の検証や水需要傾向の異なる時点における管網内の挙動を再現することができた。

さらに上記解析データを活用した管路口径の適正化検討・残留塩素濃度の解析を行い、今後の管網整備や維持管理向上に向けた知見を得ることができた。

管路口径の適正化検討では、ピーク流量を抑制することによる更新価格の減少効果が得られることが示された。残留塩素濃度の解析では、配水が滞留する可能性のある地点を確認することができた。

湖西市では、現在、「水道・電気・ガスの検針データ等利用検討の包括連携会議」や、時間帯別料金実証実験及び「水道・電気使用データによる生活実態把握と時間帯別料金制度による使用者行動の変化に関する共同研究」を進めている。

今後、市内全域へのスマートメーターの整備を進める方針であり、本共同研究で得られた知見を踏まえ、今後の更なるデータ利活用を検討していきたい。