

「中継ポンプ場汚水ポンプのインバーター制御による汚水ポンプ連続運転の有効性について」 調査研究報告書 ー 概要版 ー

平成 30 年度
公益財団法人 山梨県下水道公社
富士北麓浄化センター

1 目的

下水道の管路施設の一つである中継ポンプ場では、ポンプにより下水を揚水し、送水を行うが、昨今、この使用エネルギーを削減することが課題となっている。その有効的な手段の一つとして、図-1 に示すように、ポンプの回転速度を最適に制御することにより、その必要動力を効率的に下げる方法がある。

山梨県の富士北麓流域下水道の河口湖第一中継ポンプ場及び河口湖第二中継ポンプ場の2つの汚水中継ポンプ場では、汚水ポンプ設備の一部にインバーター設備が設けられており、これにより汚水ポンプの回転速度を可変運転し、ポンプ場に流入する汚水流量の変動に合わせ、汚水送水流量を可変調節し、連続的に送水を行うことが出来る設備となっている。しかし、供用開始当初以来、汚水ポンプの回転速度可変範囲以下の流入下水量であることから、汚水ポンプの定格固定速での間欠運転による運用を行ってきた。それが、近年の流入下水量の増加により、汚水ポンプの回転速度可変調節が可能な範囲に入り、送水流量調整運転が可能になってきたと考えられる。

今回、これら汚水中継ポンプ場において、汚水ポンプのインバーターでの回転速度制御により、流入下水量に見合った送水流量での汚水ポンプ連続運転を行うことで、使用電力量を効率良く削減することを目的とし、その効果及び施設に与える影響を含め、その有効性の検証を行うこととした。

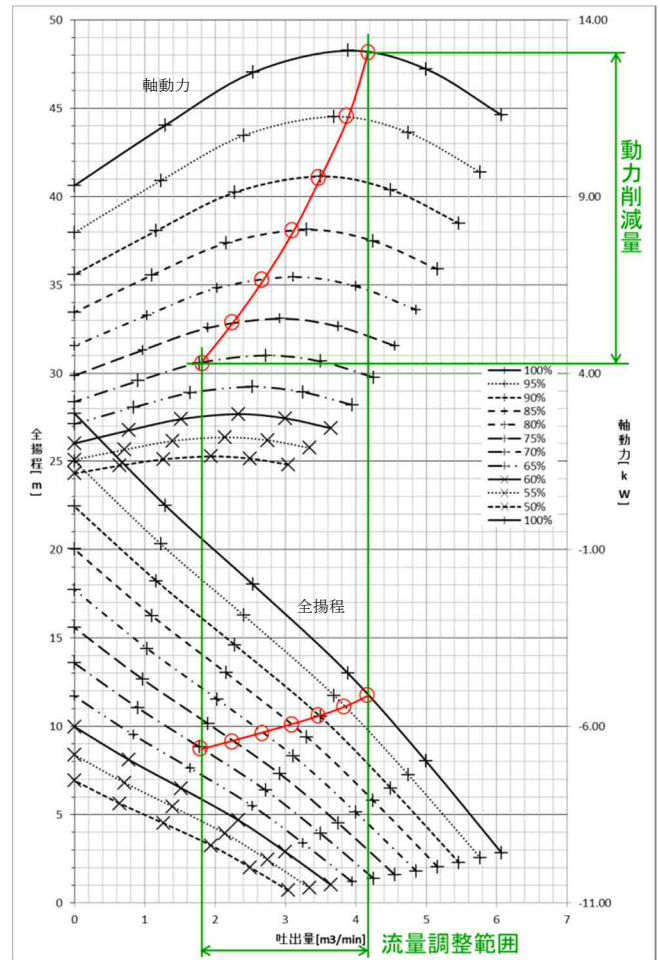


図-1 ポンプ回転速度による性能曲線、動力削減

2 調査対象施設の概要

本調査の対象とする施設は河口湖第一中継ポンプ場、河口湖第二中継ポンプ場、及びこれに付帯する圧送管路施設とする。圧送管は、図-2 に示すように、河口湖第一中継ポンプ場、及び河口湖第二中継ポンプ場からのそれぞれの圧送管が途中で合流する形となっている。

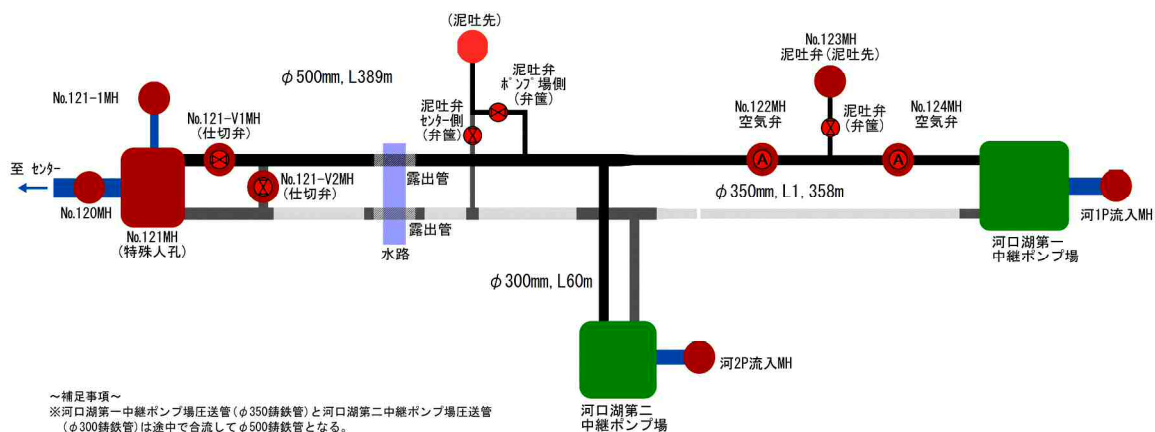


図-2 河口湖第一中継ポンプ場、及び河口湖第二中継ポンプ場と圧送管のフロー

また、中継ポンプ場の送水設備は次のとおりとなっている。

- ・河口湖第一中継ポンプ場： (水中フライホイール付ノンクログポンプ)
 汚水ポンプ No.1号(Q=3.0m³/min, インバーター付き) 2台
 No.2号(Q=3.0m³/min) 2台
 ※実吐出流量はいずれも 3.8～4.2m³/min 程度
- ・河口湖第二中継ポンプ場： (水中フライホイール付ノンクログポンプ)
 汚水ポンプ No.1号(Q=3.5m³/min, インバーター付き) 2台
 ※実吐出流量はいずれも 5.0m³/min 程度

3 調査内容及び結果

(1) 圧送管内の流速確認

圧送管内の流速は、管路内の滞泥防止の観点から、設計指針により 0.6m/s 以上とされている。この条件を満たすには、河口湖第一中継ポンプ場で 210m³/h 以上、河口湖第二中継ポンプ場で 160m³/h 以上、また、両ポンプ場圧送管合流後の圧送管については、両中継ポンプ場合わせて 430m³/h 以上の送水流量が必要となる。送水流量を下げての運転を行う場合は、この条件を満たさないことが確認できたため、対応として、毎日 20～24 時の間、定格固定速によるフラッシング運転を行った。

(2) 河口湖第一中継ポンプ場でのインバーターによる汚水ポンプ可変速運転での使用電力量削減効果

汚水ポンプの可変速運転によるポンプ井水位一定制御運転により、中継ポンプ場に流入する下水量に釣り合った量に抑えての送水を行うよう連続運転を行い、ポンプ回転速度を抑えることによる使用電力量削減効果を調査した。また、定格固定速から可変速運転により、送水流量を下げての送水流量一定制御運転による効果についても調査を行った。その結果を表-1 に示す。

汚水ポンプ可変速運転によるポンプ井水位一定制御、及び送水流量一定制御運転のいずれにおいても良好な電力量削減効果があることが確認された。

表-1 河口湖第一中継ポンプ場における調査結果のまとめ

制御方式	水位一定制御		送水流量一定制御	
設定値	H=1.8m		Q=180	Q=150
ポンプ運転電力量原単位削減率 [%]	16.2	19.1	22.1	
ポンプ場電力量原単位削減率 [%]	11.0	15.4	14.3	
ポンプ場電気料金削減額 [円/年]	165,000	231,000	215,000	
問題点	共通	・定格固定速運転によるフラッシング運転が必要である		
	個別	(特になし)	・流入下水量が通常より多い場合、ポンプ井水位が2台目ポンプ起動水位に達する場合がある。	・ポンプ井水位が2台目ポンプ起動水位に達する時間帯がある。 ・流入下水量が通常より多い場合、ポンプ井水位が3台目ポンプ起動水位に達する場合がある。

その中で、ポンプ場の電気料金が最も削減できる方式は、送水流量一定制御における運転であり、設定流量は 180m³/h 及び 150m³/h のどちらも同等の結果となった。ただし、問題点にもあるとおり、両設定送水流量とも、図-3 に示すように、ポンプ井水位が、2 台目ポンプの起動水位(H=2.3m)に達することもあり、送水流量についてはより高い送水流量で見直す必要がある。今後、徐々に設定流量を変化させながら最適となる設定流量を模索し、運用していく、もしくは、運転監視操作対応の可否によるが、流入下水量の多い、もしくは少ない時間帯に応じた流量設定の切り替えを行う対応も有効的と考えられる。また、これらについて対応が困難な場合は、ポンプ井水位一定制御による運転も十分な電気料金削減効果があり、図-4 に示すように、安定した運転が行えることから、この方式を採用することも有効と考えられる。

なお、いずれの場合でも、圧送管路内のフラッシングを定期的に行う必要があり、その効果を上げられる中継ポンプ場への流入下水量が多い時間帯と、電力料金単価が安価となる時間区分帯から、20 時もしくは 21 時から 24 時までの間に行うことが望ましいと考えられる。

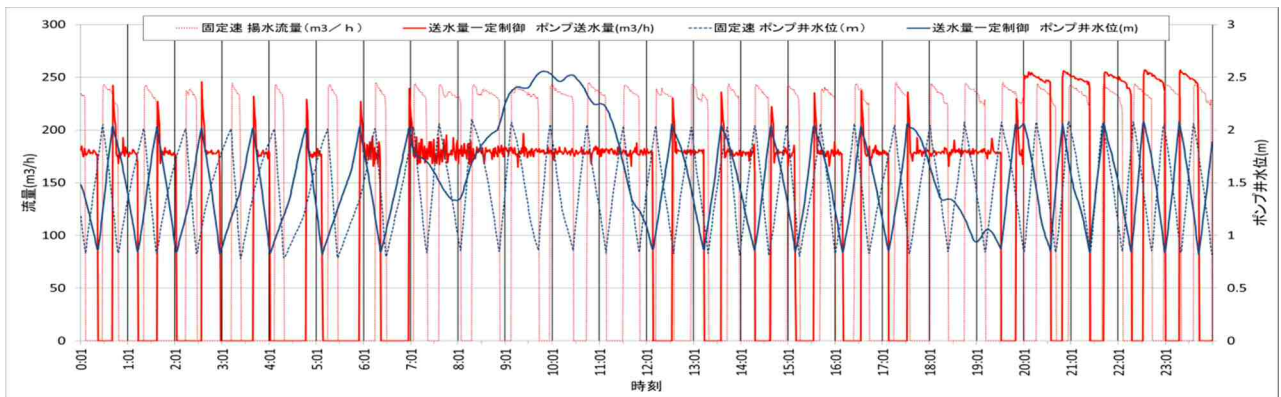


図-3 河口湖第一中継ポンプ場 送水流量一定制御比較 送水流量及びポンプ井水位の挙動(Q=180m³/h)

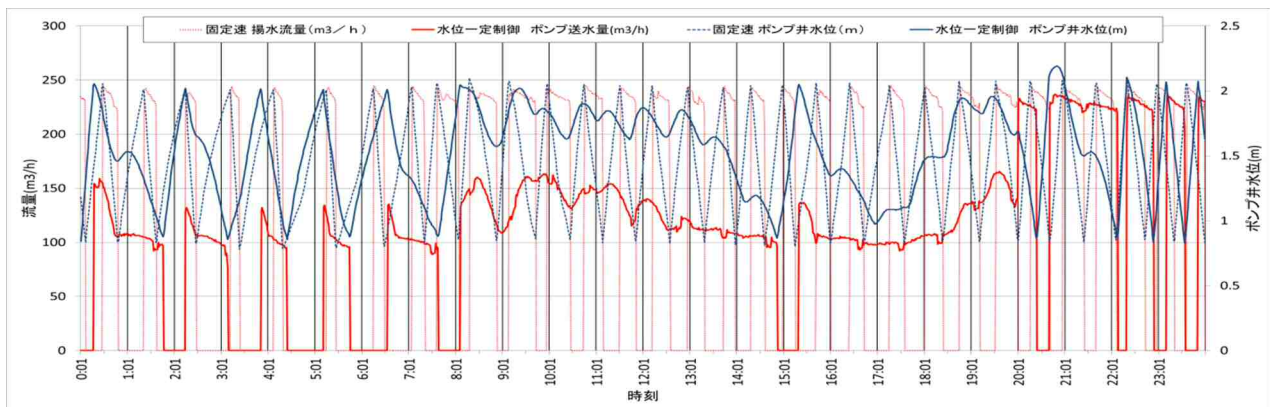


図-4 河口湖第一中継ポンプ場 水位一定制御運転比較 送水流量及びポンプ井水位の挙動

(3) 河口湖第二中継ポンプ場でのインバーターによる汚水ポンプ可変速運転での使用電力量削減効果

汚水ポンプを定格固定速から可変速運転することにより、送水流量を下げての送水流量一定制御運転による使用電力量削減効果を調査した。その結果を表-2 に示す。なお、ポンプ井水位一定制御による運転は、現状の流入下水量が少ないため、運用不可と判断した。

表-2 河口湖第二中継ポンプ場における調査結果のまとめ

制御方式	水位一定制御	送水流量一定制御	
設定値	—	Q=250	Q=55
ポンプ運転電力量原単位削減率 [%]	—	1.8	-95.2
ポンプ場電力量原単位削減率 [%]	—	2.8	-35.2
ポンプ場電気料金削減額 [円/年]	—	24,000	—
問題点	共通	・定格固定速運転によるフラッシング運転が必要である	
	個別	・流入下水量が少ないため、現状で適用不適。	・使用電力量、電気料金を下げられるが、効果は不十分。 ・ポンプ効率が極端に悪いところでの運転となるため、適用不適。

汚水ポンプ可変速運転による送水流量一定制御運転については、設定流量によってはある程度の電力量削減効果があることが確認された。

ただし、設定流量が 55m³/h の場合は 2 倍近い消費電力量となり、逆効果となった。これは、このポンプの特性と当該ポンプ圧送設備の揚程等（運転点）の関係から、ポンプの回転速度を下げた場合、ある運転点以下となったところでポンプの効率が著しく低下することが原因と考えられる。図-5 に示すとおり、当該ポンプの性能曲線から、回転速度制御により吐出流量を変化させた場合、定格(100%)回転速度の 300m³/h 及び約 90%回転速度の 250m³/h の場合のポンプ効率は 74%程度であることにに対し、約 70%回転速度の 55m³/h の場合のポンプ効率は 47%程度と大幅に低下することが分かる。また、この図から、良好なポンプ効率を維持できるポンプ回転速度低減限界は、およそ 85%回転速度、吐出量 215m³/h 程度である

ことが想定できる。

今回調査を実施した設定流量では、十分な電力量削減効果を得られなかった。しかし、設定流量をポンプ効率が低下しない 85%回転速度、流量 215m³/h 程度までを目安に下げ、その効果が最も高い送水流量を探り、運用していくことで、効果的な運転制御を行うことができると考えられる。

なお、いずれの場合でも、圧送管路内のフラッシングを定期的に行う必要があり、その効果を上げられる中継ポンプ場への流入下水量が多い時間帯と、電力料金単価が安価となる時間区分帯から、20 時もしくは 21 時から 24 時までの間に行うことが望ましいと考えられる。

(4) 送水流量を下げた場合における、

圧送管内での送水下水中の固形物沈殿状況

中継ポンプ場からの各下水送水流量における、圧送管出口での下水中の浮遊物質量を測定することより、圧送管内での下水中の固形物の堆積状況を推測した。

その結果、表-3 のとおり、送水流量が低下するに従い、圧送管出口下水浮遊物質量も減少し、管内流速が 0.33m/s となった時には、0.77t/日の堆積物が圧送管内に堆積することが推測された。このことから、堆積量の許容基準は不明であるが、送水流量を汚水ポンプ定格流量以下に下げた運用を行う場合、一日に一度はフラッシング等による圧送管内の掃除が必要と考えられる。

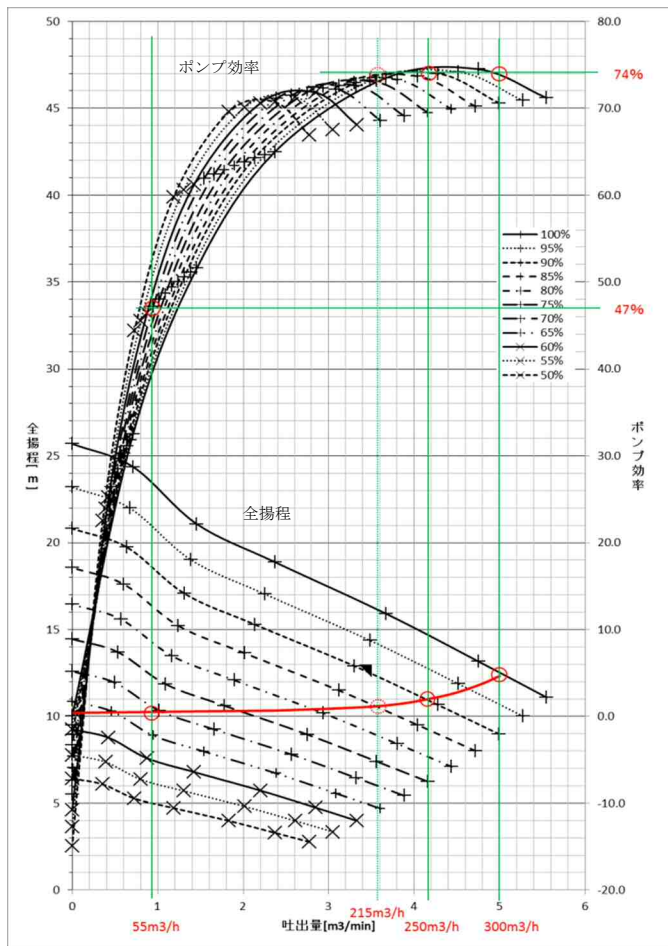


図-5 河口湖第二中継ポンプ場 No.1-1 汚水ポンプ性能曲線 ポンプ効率比較

表-3 各送水流量における圧送管出口下水浮遊物質量及び圧送管内堆積物想定量

番号	中継ポンプ場送水流量 [m ³ /h]			圧送管内流速 [m/s]			出口下水 浮遊物質量 [mg/ℓ]	ポンプ場 下水送水量 [m ³ /日]			圧送管路内 堆積物量 [t/日]
	河1P	河2P	合計	[A]~[C]	[B]~[C]	[C]~[D]		河1P	河2P	合計	
①	230	280	510	0.664	1.1	0.722	180	2900	940	3840	0
②	230	0	230	0.664	0	0.325	170	2900	940	3840	0.038
③	150	0	150	0.433	0	0.212	* 220	2900	940	3840	—*
④	115	0	115	0.332	0	0.163	160	2900	940	3840	0.077

【*】…③は異常値として取り扱わない

(5) 圧送管出口での硫化水素ガスの発生状況

圧送管出口マンホールに硫化水素ガス連続測定器を設置し、硫化水素ガス濃度を連続的に記録することにより、それぞれの運転制御における、圧送管出口での硫化水素ガスの発生状況を把握した。

その結果、従来の定格固定速での間欠運転の場合の硫化水素ガス濃度は、日平均値で 1.8ppm、最高値は 20ppm であったのに対し、河口湖第一中継ポンプ場で可変速によるポンプ井水位一定制御を行った場合は、日平均値で 1.6ppm、最高値は 10ppm であり、若干の硫化水素ガス抑制効果があったものと考えられる。ただし、硫化水素ガス発生は、河口湖第二中継ポンプ場の送水の影響が大きく、また、下水中の硫化物イオン濃度の変動の方がより大きく影響していることから、下水の連続送水による硫化水素ガス抑制効果は限定的であると考えられる。水位一定制御時の硫化水素ガス発生状況を図-6 に示す。

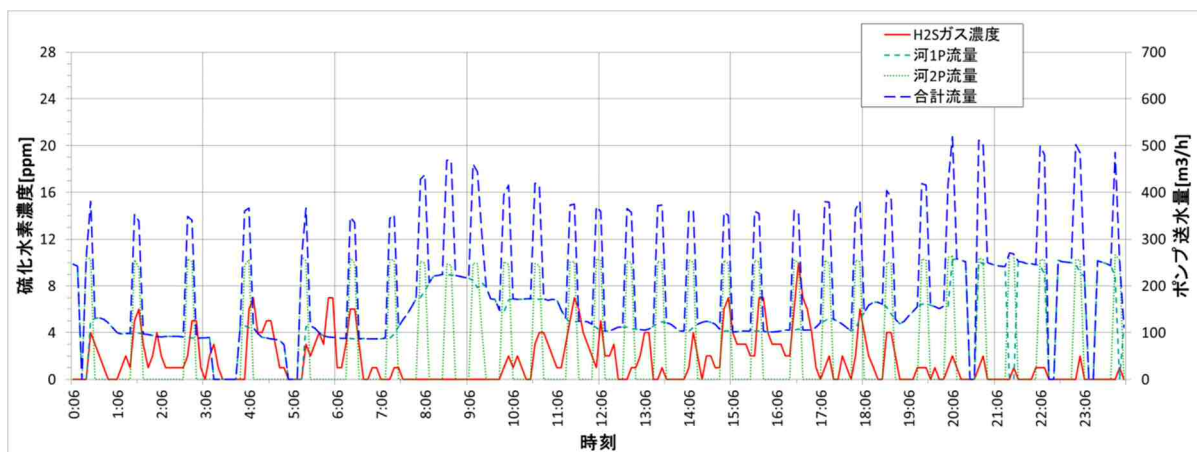


図-6 汚水ポンプ可変速水位一定連続運転時の硫化水素ガス発生状況

(6) 中継ポンプ場施設、機器への影響調査

中継ポンプ場の各設備、機器の状況を、目視を主として確認すると共に、汚水ポンプメーカーへその影響についてヒアリングを行った。

- ・ 汚水ポンプ運転時間増加による劣化速度への影響

ポンプの吐出流量を下げることにより、運転時間が長くなるため、摺動部の摩耗劣化促進等が懸念される。しかし、運転時の各部に掛かる負荷は軽減され、単純に時間に比例しての劣化促進には繋がらない可能性もあると考えた。ポンプメーカーへのヒアリングの結果は、「点検・整備(=劣化)の実施周期は機器の運転時間、経年数により定められており、回転速度を下げた場合の劣化基準は特に設けていない。」との回答であった。これらのことから、回転速度を下げた場合のポンプの劣化への影響は不明であり、運用を行っていく中で長期的に実機にて確認していく必要がある。

- ・ ポンプ井での滞泥、スカム発生への影響

従来の間欠運転では、ポンプ井での滞泥、スカム発生はなかったが、ポンプ井水位一定運転を行った場合、それらの影響が懸念された。このため、ポンプ井水位一定制御を行った場合の状況を目視にて観察した結果、これらの発生はないことを確認した。

4 結論

今回の調査研究の結果、確認できたことは次のとおりである。

(1) インバーターによる汚水ポンプの可変回転速度による送水流量を下げての連続運転制御により、中継ポンプ場の使用電力量、電気料金を削減できることが確認できた。

- ・ 河口湖第一中継ポンプ場

- ・ 水位一定制御により中継ポンプ場使用電力量を想定で11%削減、電気料金を想定で年間165,000円削減できる。

- ・ 送水流量一定制御により、時間帯による下水流入量の変動に合わせ、適切な流量設定を行うことにより、中継ポンプ場使用電力量及び電気料金をさらに低減できる可能性がある。

- ・ 河口湖第二中継ポンプ場

- ・ 水位一定制御は現状で不適當である。

- ・ 送水流量一定制御により、中継ポンプ場使用電力量を想定で2.8%削減、電気料金を想定で年間24,000円削減できる。最適な流量値を設定することで、さらに低減できる可能性がある。

(2) 圧送管路内の流速確保、固形物堆積防止のため、毎日一定時間、一定送水量、汚水ポンプの定格固定速による圧送管内のフラッシング運転が必要である。

(3) ポンプの回転速度を変化させる際、ある程度の回転速度以下になるとポンプ効率の著しい低下により、かえって使用電力量の増加を招く恐れがあるため、注意が必要である。

(4) 中継ポンプ場の水位一定制御における連続送水により、圧送管出口での硫化水素ガス発生の抑制は、ある程度あるように見られた。ただし、流入下水中の硫酸イオン濃度などの水質による影響が大きいと考えられる。