

省力化に貢献し、機動性に優れる 新たな防災ソリューション

災害停電時マンホールポンプ起動支援システム

平 木 勲

国内で数多く設置されているマンホールポンプ施設は、近年多発する台風や落雷等の自然災害によって電源を喪失し、機能停止に至るケースが増えている。このような電源喪失時においては、バキューム車や発動発電機により対応するケースが多いが、人員・資機材等の確保が困難であることや応急復旧までに多くの時間を要するという課題がある。このような課題に対して、可搬型蓄電池または電動車両を電源供給源とすることで、少ない人員で迅速な応急復旧対応を可能としたのが「災害停電時マンホールポンプ起動支援システム」である。本稿では災害停電時マンホールポンプ起動支援システムの開発に関する研究成果について報告する。

キーワード：マンホールポンプ施設, 自然災害, 停電, 可搬型蓄電池, 電動車両

1. はじめに

近年、大規模地震や地球温暖化に伴い多発する風水害等が各地で停電を引き起こし、マンホールポンプの稼働停止が増加している。現行の対策では、自治体と災害協定を結んだ地元支援企業等が可搬式の発動発電機を用意し、被災箇所に対応するのが一般的である。しかし、用意できる発動発電機には限りがあり、復旧できるポンプ数はその制約を受けるといった問題がある。また、発動発電機は重量があり、運搬の際はトラッククレーン等への積載が必要である。このような発動発電機の運搬性の悪さも問題となっている。

前述した問題の解決を目指し、「災害停電時マンホールポンプ起動支援システム」（以下、本システム）の開発を、（公財）日本下水道新技術機構等との共同研究にて行った。

図-1に本システムの概要を示す。本システムは、災害停電により停止したマンホールポンプを「可搬型蓄電池」や「電動車両」を電源供給源として、本システム用制御盤を介して迅速に起動させるシステムである。本システムは、可搬型蓄電池の運搬性に加え、電動車両自体も電源供給源となることができるので、複数のマンホールポンプ施設の同時復旧が可能となる。

今回、本システムの開発において、自治体アンケートやフィールド実証実験等を通して研究成果が得られたため、報告する。

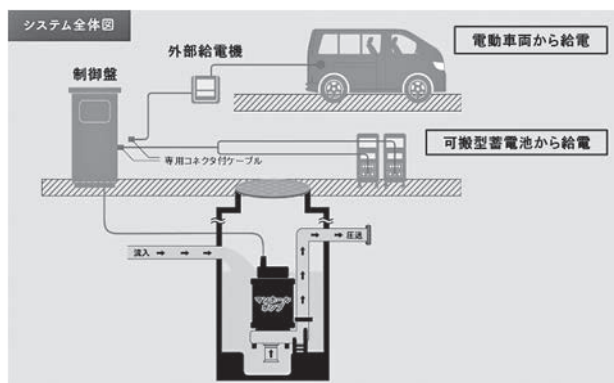


図-1 本システムの概要

2. 調査・研究方法

本研究は、図-2のフローの手順で研究を行った。以下に各調査・研究方法について記載する。

(1) 自治体アンケート・ヒアリング

本アンケートは、本システムを構成する製品の開発や運用方法の参考とするため、マンホールポンプに関する災害停電時の課題や、本システムに必要な機能要件等を整理することを目的に実施した。本アンケートは、マンホールポンプ施設の設置数が20台以上の実績がある約600自治体を対象に実施し、有効回答を得た274自治体の回答の分析整理を行った。さらに、停電発生の実績やマンホールポンプ所有数等を参考に6自治体を選定し、ヒアリングによるさらなる分析整理を行った。

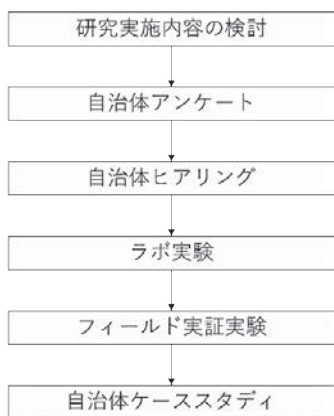


図-2 実験フロー

(2) ラボ実験

本ラボ実験は、可搬型蓄電池および電動車両を電源とした本システムによるマンホールポンプの稼動性能を確認することを目的に実施した。実施にあたってはポンプの起動および運転データを取得し、商用電源使用時のデータと本システム使用時のデータとの比較から本システムの稼動性能を確認した。図-3に本ラボ実験にて利用した実験用マンホールポンプ施設を、

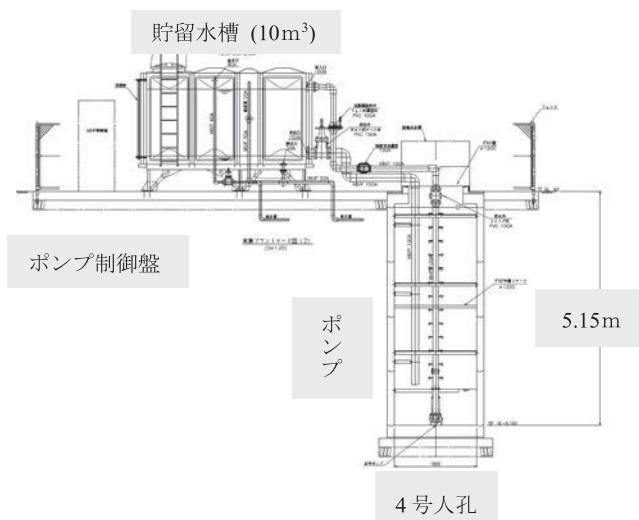


図-3 実験用マンホールポンプ施設概要図

表-1, 2に電源バッテリー仕様およびポンプ運転条件を記載する。

(3) フィールド実証実験

本フィールド実証実験は、実際に国内で稼動しているマンホールポンプ施設において、本システム用制御盤・可搬型蓄電池および電動車両によるマンホールポンプ稼動実証を行うとともに、災害停電時を想定した運用検証を行うことを目的に実施した。本フィールド実証実験は、50 Hz (A市) および 60 Hz (B市) 地域のマンホールポンプ施設にて行った。以下にそれぞれの具体的な実験条件と実験方法を記載する。

(a) マンホールポンプ稼動実証

本稼動実証では、各マンホールポンプ施設に設置されているポンプおよび水位計の配線を既設制御盤から本システム用制御盤に繋ぎ変え、可搬型蓄電池もしくは電動車両を電源供給源としてマンホールポンプを稼動させ、電流・電圧、運転時間等の運転データを取得した。さらに、取得した運転データから、本システムによるポンプ施設の運転継続が可能な時間（以下、運

表-1 電源バッテリー仕様

種類	出力	容量
可搬型蓄電池 (2台1セット)	4.0 kW	10 kWh
電気自動車 (EV)	6.0 kW	16 kWh
プラグインハイブリッド車 (PHEV)	6.0 kW	20 kWh

表-2 ポンプ運転条件

項目	条件
運転水位の揚程	2.65 m
停止水位の揚程	6.65 m
運転1回当たりの揚水量	10 m ³
ポンプ出力	0.75 ~ 5.5 kW

表-3 A市およびB市の各マンホールポンプ施設の運転状況および実験条件

		ポンプ出力	運転1回の揚水量	1日の運転回数	使用電源	設定周波数
		[kW]	[m ³]	[回]	[-]	[%]
A市 (50 Hz)	C マンホールポンプ場	1.5	0.53	17	可搬型蓄電池	100
	D マンホールポンプ場	2.2	1.29	18	可搬型蓄電池	100
	E マンホールポンプ場	5.5	1.59	38	PHEV	80
B市 (60 Hz)	F マンホールポンプ場	2.2	1.85	96	可搬型蓄電池	100
	G マンホールポンプ場	3.7	2.12	29	EV	90
	H マンホールポンプ場	1.5	0.71	134	可搬型蓄電池	100
	I マンホールポンプ場	3.7	1.01	264	PHEV	90

転継続時間)を試算した。

表一3に本実証実験を行った各マンホールポンプ施設の運転状況および実験条件を示す。

(b) 災害停電時の運用方法を想定した運用検証

本運用検証では、災害停電時を想定して、復旧作業の起点となる管理事務所から2つのマンホールポンプ施設への電源バッテリーの運搬・設置および回収等を模擬的に行い、各作業に要する時間等を確認した。本運用検証は、A市およびB市にて行い、例として図一4にA市の運用検証ルートを示す。

3. 研究結果

(1) 自治体アンケート・ヒアリング

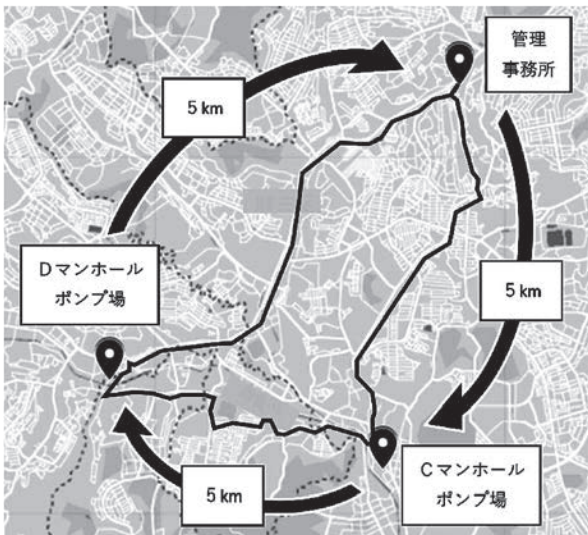
本アンケート・ヒアリングの結果を分析し、マンホールポンプに関する災害停電時の復旧に際する課題や本システムに必要な機能要件等を整理することができた。本アンケート・ヒアリングの結果は、続く種々の実験やケーススタディを行う際の参考にした。以下に、本アンケート・ヒアリングによる分析整理の結果の一部を記載する。

(a) 停電によるマンホールポンプ施設への影響

マンホールポンプが機能停止した場合、マンホールから汚水の流出等が生じる恐れがあり、地域住民の生活に深刻な影響を及ぼしかねない。実際に75%の自治体がマンホールポンプ停止の影響を受けており、全国的な困りごととなっている。

(b) 大規模停電時のマンホールポンプ施設起動に関する現状の課題

停電時のマンホールポンプの復旧には、発動発電機等の代替電源が最も多く利用される。復旧に際しての



図一4 A市の運用検証ルート

課題について、大多数の自治体が発動発電機およびマンパワー不足をあげている。

(c) 災害発生時の停電時間

図一5に災害発生時の停電時間を示す。1回の停電時間は6時間未満が60%以上である。緊急起動後の対応等を含めると、運転継続時間は半日程度が要件となってくる。

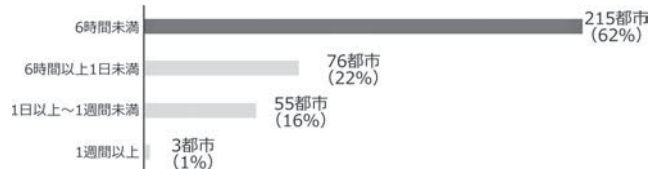
(d) 各自治体の出力別マンホールポンプ保有台数

図一6に、各出力のマンホールポンプを10台以上保有する自治体数を示す。最も多い出力は1.5kWで、次に多い出力が0.75kW以下と、小規模なポンプが多い傾向であった。一方で、5.5kWおよび7.5kW以上の大規模なポンプは、小規模なポンプと比べて台数が少ない傾向であった。よって、本システムにおけるポンプ出力の適用範囲は、5.5kW以下を標準型、7.5kWを特注型とした。

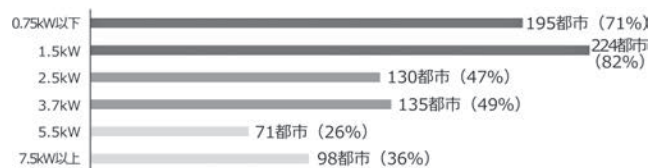
(2) ラボ実験

(a) 蓄電池の電動車への積載試験

可搬型蓄電池は作業員2人で運搬・設置が可能であり、EVには4台、PHEVには2台積載可能であることを確認した。写真一1に可搬型蓄電池の積載作業



図一5 災害時の停電時間



図一6 各出力のマンホールポンプ10台以上保有自治体数



写真一1 PHEVへの可搬型蓄電池の積載作業の様子

の様子を示す。

(b) 電源バッテリーによるマンホールポンプ起動実験

本ラボ実験で対象としたすべてのポンプ出力に対して、本システムによる起動を確認し、概ね商用電源使用時と同様のポンプ性能を示すことを確認した。

(c) 各揚程における消費電力量

図一7に、ポンプ出力 1.5 kW の各揚程における消費電力量を示す。図一7は可搬型蓄電池を電源供給源として周波数 100%により運転したデータである。揚程が低いほど、すなわちマンホール内の水位が高いほど、消費電力が少ないことが示された。他のポンプ出力、電動車両を電源供給源とした場合でも同様の結果が得られた。

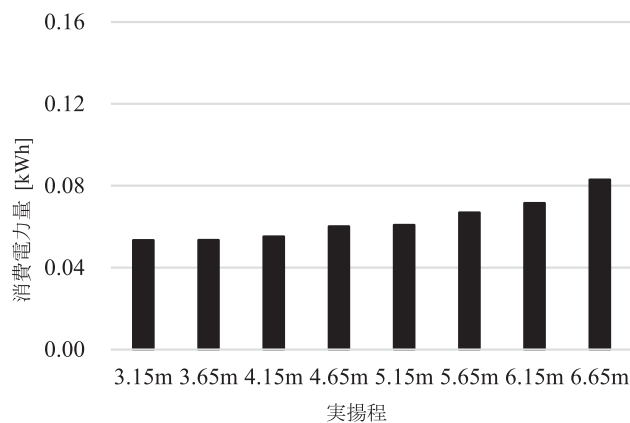
(d) 最適な周波数設定による消費電力量の低減

各周波数の運転 1 回当たりのポンプ消費電力量を、取得した電流値・電圧値・運転時間より算出した。表一4にPHEVを電源供給源とした際の各周波数運転における消費電力を示す。最小の消費電力とするために設定すべき周波数は、ポンプ出力の大きさと相反する傾向が見られた。また、使用電源の違いは、消費電力に顕著な差を生じさせなかった。

(e) ラボ実験まとめ

ラボ実験の結果より、可搬型蓄電池は電動車両により運搬が可能であることが確認できた。

また、災害停電時における電源供給源として、可搬



図一7 各揚程における消費電力量 (ポンプ出力 1.5 kW)

型蓄電池および電動車両の電源バッテリーを用いて、5.5 kW 以下のマンホールポンプの緊急起動が可能であることを実証した。

さらに、揚程が低いほど消費電力量が少なくなることや、ポンプの出力毎に消費電力量が最も少なくなる周波数設定が異なることを確認した。つまり、運転水位を可能な限り高く設定し、最適な周波数設定をすることで、ポンプ運転時間をより持続させることが可能である。

この結果を受け、続くフィールド実証実験では、各機場のポンプ出力に応じて周波数を設定した。

(3) フィールド実証実験

(a) マンホールポンプ稼働実証

表一5に本稼働実証で取得したポンプ運転データを示す。本稼働実証を行ったすべてのマンホールポンプ施設において、本システムによるポンプ吐出量が、計画汚水量以上の値であることを確認した。

本稼働実証で取得したポンプ運転データを基に、運転継続時間を式一1より算出した。ポンプの消費電力の他に、制御盤の計装類や電源供給源自体の制御等で消費する待機電力が生じるため、運転継続時間を算出する際はこれらを考慮する必要がある。

表一5に、算出した各マンホールポンプ施設の運転継続時間を示す。ポンプ出力が大きく、1日のポンプ運転回数が多い施設では運転継続時間が短くなるが、概ね半日以上運転継続が可能であった。

(b) 運用検証結果

本運用検証では、1巡目として2機場への可搬型蓄電池の設置およびポンプ復旧作業を行い、2巡目として設置した可搬型蓄電池の交換・回収および電動車両によるポンプ復旧作業を行った。可搬型蓄電池の運搬および電動車両によるポンプの復旧には、EVを使用した。

表一6にA市およびB市の本運用検証結果より算出した、運用時の各作業の所要時間を示す。

(c) フィールド実証実験まとめ

本フィールド実証実験では、実施において本シス

表一4 PHEV を電源供給源とした際の各周波数運転における消費電力

使用電源	周波数設定	運転 1 回当たりの消費電力量 [kWh]			
		1.5 kW	2.2 kW	3.7 kW	5.5 kW
PHEV	100%	0.52	0.53	0.78	-
	90%	0.55	0.52	0.66	0.68
	80%	0.78	0.55	0.65	0.60
	70%	-	-	-	0.56

表一5 各マンホールポンプ施設のポンプ運転データおよび運転継続時間

		消費電力	使用電源	設定周波数	ポンプ吐出量		運転継続時間
					実測値	計画汚水量	
					[kW]	[-]	
A市	Cマンホールポンプ場	2.2	可搬型蓄電池	100	27.0	3.1	38：10
	Dマンホールポンプ場	3.5	可搬型蓄電池	100	38.7	21.6	30：10
	Eマンホールポンプ場	3.8	PHEV	80	32.9	27.4	21：01
B市	Fマンホールポンプ場	3.0	可搬型蓄電池	100	37.5	36.0	10：30
	Gマンホールポンプ場	4.3	EV	90	55.0	47.4	18：38
	Hマンホールポンプ場	2.3	可搬型蓄電池	100	27.6	27.6	17：57
	Iマンホールポンプ場	3.7	PHEV	90	53.6	51.1	13：49

$$\text{運転継続時間} = \frac{\text{電源バッテリーの容量}}{\{(\text{消費電力} \times 1 \text{ 回の運転時間} \times 1 \text{ 日当たりの運転回数}) + (\text{電源等の待機電力} \times 1 \text{ 日の待機時間})\}} \times 24 \text{ h}$$

式一1 ポンプの運転継続時間

テムを利用したマンホールポンプの運転データを取得し、運転継続時間を算出した。その結果、本システムにより概ね半日以上の運転継続が可能であることが示された。

また、表一6に示す、運用時の各作業の所要時間は10分前後であり、本システムでは機動的な運用および迅速な復旧作業が可能であると言える。

4. ケーススタディ

本システムを既存マンホールポンプ施設へ適用することを想定した導入計画および運用計画等のケーススタディを行った。本ケーススタディではフィールド実証実験を行ったA市にある37機場のマンホールポンプ施設を対象とした。

(1) 導入計画

本ケーススタディでは、第一に本システムの適用箇所として、早急に復旧すべき施設の選定を行った。

図一8に、本システムの適用箇所の選定フローお

表一6 運用時の各作業の所要時間

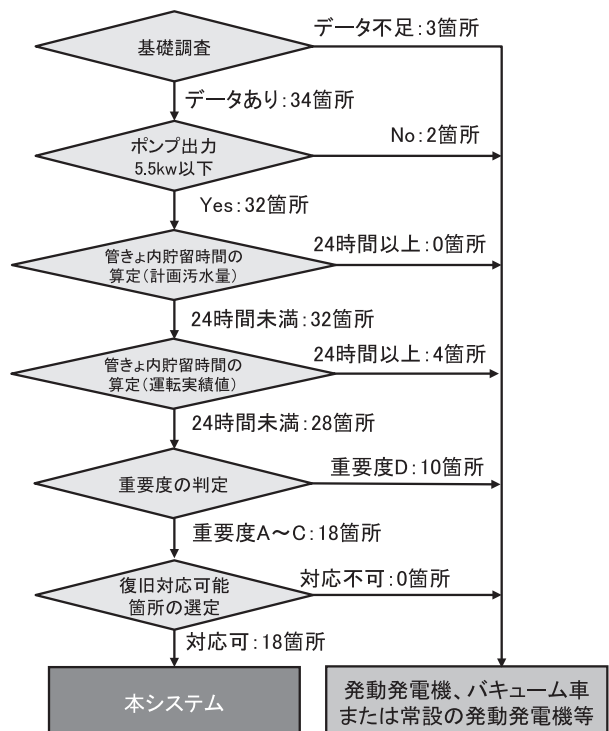
作業項目	所要時間
① 電動車両への積載作業	
・ 可搬型蓄電池 4 台	11分
・ 可搬型蓄電池 2 台 + 外部給電機	9分
② 機場での作業	
・ 可搬型蓄電池の設置およびポンプ起動	12分
・ 電動車両 + 外部給電機の設置およびポンプ起動	10分
・ 可搬型蓄電池の交換	18分
・ 可搬型蓄電池の回収	10分
・ 電動車両から可搬型蓄電池への充電準備	5分

び選定結果を示す。A市の所管である37箇所のマンホールポンプ施設から18箇所を本システムの適用箇所として選定した。

次に、本システムによる復旧対応の起点となる施設および復旧対応可能箇所の選定を行った。

復旧対応の起点となる施設として、可搬型蓄電池および電動車両等の保管場所および、災害停電時に対応可能な人員の確保が可能であるA下水道事務所、B下水道事務所、C下水道事務所を設定した。

復旧対応可能箇所は、復旧対応の起点となる施設から各マンホールポンプ施設間の移動距離に基づいて選



図一8 選定フローおよび選定結果

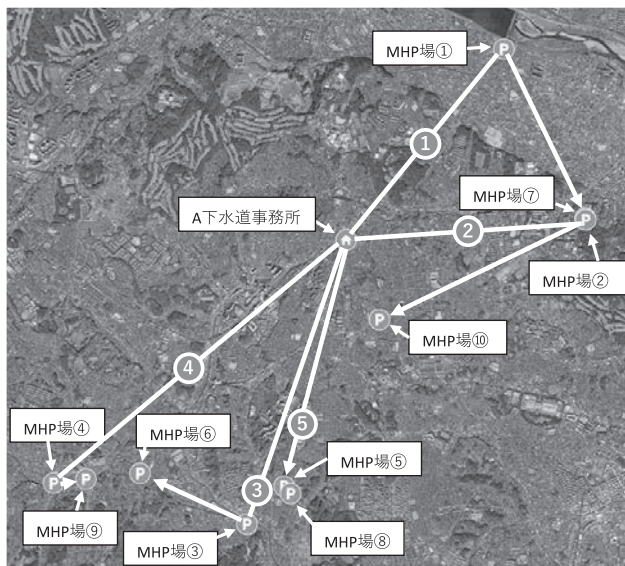
定した。下水道事務所ごとの復旧対応可能箇所は、A 下水道事務所が 10 箇所、B 下水道事務所が 6 箇所、C 下水道事務所が 2 箇所となった。

(2) 運用計画

本システムの運用計画として、本システムの適用箇所を下水道事務所の管轄ごとに分類し、災害停電時における各下水道事務所からの復旧ルートおよび、必要な電源バッテリーを設定した。

復旧ルートは管轄内の全てのマンホールポンプ施設が同時に停電したと想定し、緊急度が高い（管きょ内貯留時間が短い）箇所から順に復旧ルートを設定した。ポンプの復旧には、原則として可搬型蓄電池を積載し、各下水道事務所から出発することを想定し、ポンプ出力 5.5 kW の箇所のみ EV と外部給電機による復旧対応とした。

例として、図一 9 に A 下水道事務所管轄における本システム適用箇所および、災害停電時における復旧ルートを示す。A 下水道事務所管轄における本システムの適用箇所は 10 箇所あり、災害停電時における復旧ルートを 5 つ設定した。B、C 下水道事務所においても同様の設定を行った。表一 7 に A 市全体で必



図一 9 A 下水道事務所管轄の本システム適用箇所および復旧ルート
※図中のMHPはマンホールポンプの略

表一 7 A 市全体で必要な電源バッテリーの詳細

	電源バッテリー台数		
	EV	外部給電機	可搬型蓄電池
A 下水道事務所	5	1	20
B 下水道事務所	4	2	8
C 下水道事務所	1	1	4
合計	10	4	32

要な電源バッテリーの詳細を示す。

図一 8 に示す選定フロー等はあくまで一例であり、各自治体によって違いが出てくると考えられるものの、本ケーススタディでは、各自治体において本システムの導入検討を行う際に参考となる事例を示すことができた。

5. おわりに

本稿では、災害停電時に停止したマンホールポンプ施設について早急に機能の復旧を図ることができる「災害停電時マンホールポンプ起動支援システム」の開発に関する、自治体へのアンケートや実証実験等の研究成果を取りまとめ、報告した。

現在、浸水等により制御盤が故障し、使用不可となった場合にも対応可能なシステムの研究開発を進めている。本研究を含めたこれらの活動が、全国の自治体における災害時の課題解決に少しでも寄与できれば幸いである。

J|C|MA

《参考文献》

「災害停電時マンホールポンプ起動支援システムに関する技術資料 2022年 12 月」((公財)日本下水道新技術機構)

[筆者紹介]

平木 颯 (ひらき さとし)
荏原実業(株)
技術開発本部 事業化推進部

