

真空式排水集水システム

(一財)建築コスト管理システム研究所・新技術調査検討会

1 はじめに

これまでの、地階にトイレ等を設ける場合は、汚水槽を設け汚水ポンプでポンプアップする圧送システムが一般的であった。しかし、この方法では汚水槽に最低限の汚水が残り、悪臭発生（ビルピット問題）の原因ともなっていた。また、既存の施設にトイレなど水場を設置する場合に、下階の使用状況や排水管の勾配を確保することが困難であることにより、断念することもあった。

このような問題を解消すべく、圧送システムに代わる機械排水システムとして、真空（完全な真空でなく、減圧状態の意味）を利用した排水システムが考案されている。しかし、多くがリフトアップ対応から気液混合吸引している真空式下水道システムを応用しているため、騒音・振動が発生し建物内排水設備としては採用されていないのが現状であった。

このほど、空気を吸引しない方式により、騒音・振動問題を解消できる真空式排水集水システムが開発された。今後、建築物のストックの有効利用の観点から、リノベーションやコンバージョン対応の排水設備システムとしての導入が見込まれる真空式排水集水システムの導入事例を、圧送システムとの比較を交えて紹介する。

2 真空式排水集水システムの概要

圧送システムは、汚水貯留槽に集まった汚水をポンプにて屋外の桝に排水する方式であり、広く

用いられている排水方式である。圧送システム（ポンプアップ方式）の系統図を図1に示す。

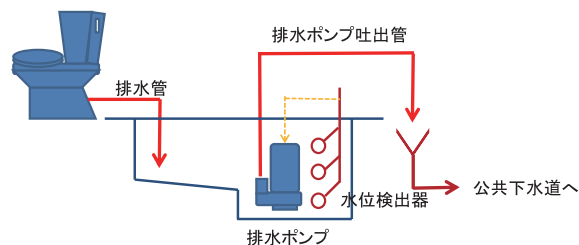


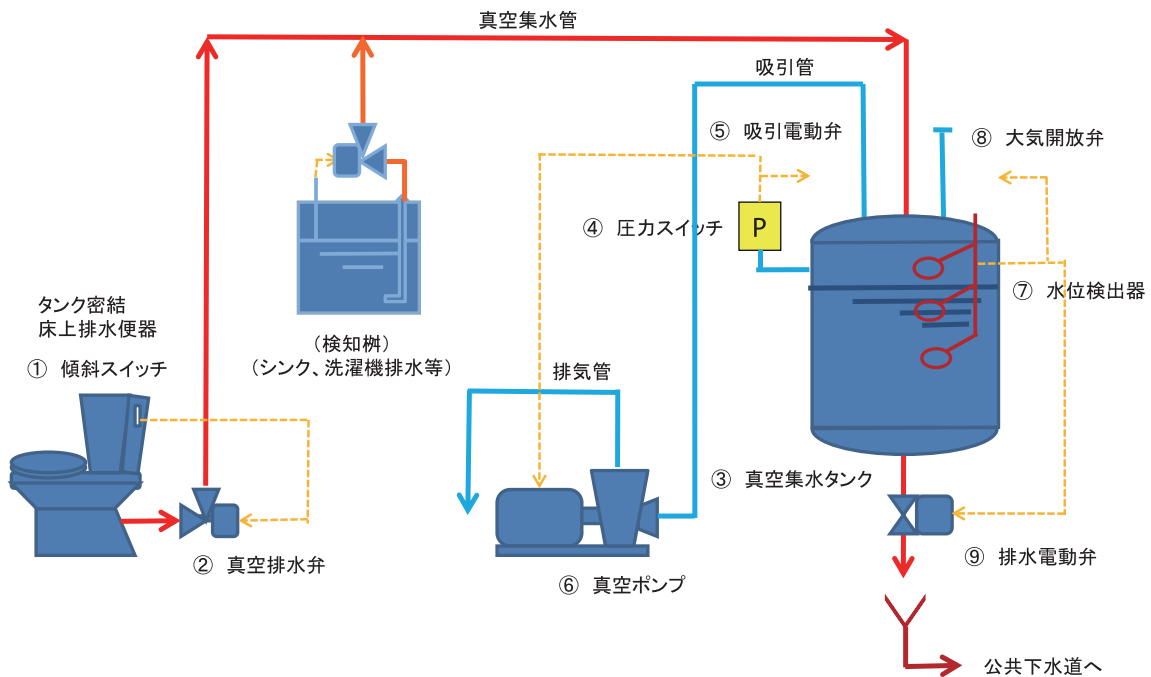
図1 圧送システムの系統図

真空式排水集水システムは、真空を形成する真空ポンプ、負圧に保たれ汚水を吸引する真空集水タンク、真空を保ち安定した吸引を行うための真空排水弁及び真空排水弁と集水タンクを結ぶ真空集水管より構成される。

このシステムは、空気を吸引しないように吸引圧力と真空排水弁の開閉時間を制御している。そのため、排水量が一定量であるロータンク式便器は、排水管に真空排水弁を直接接続した真空式排水集水システムとすることが可能である。

なお、シンク、洗濯機排水、浴槽など不定量な排水の場合には検知桝を設置して一定量を吸引することにより同様の機能を発揮させることが可能である。

ロータンク方式（タンク密結床上排水便器）の系統図及び動作説明を図2に示す。



動作説明

1. 便器の洗浄タンクの①傾斜スイッチが作動（洗浄開始）。
2. ②真空排水弁が一定の時間開き、便器内の汚水が真空集水管によって③真空集水タンクに吸引される。
3. ③真空集水タンク内の圧力が上昇すると、④圧カスイッチが検知し、⑤吸引電動弁を開放し、⑥真空ポンプを起動し、③真空集水タンク内の真空が保たれる。
4. ③真空集水タンク内の汚水が設定水位になると、⑦水位検出器により⑧大気開放弁及び⑨排水電動弁が開き、真空集水タンク内の汚水が排出される。

図2 真空式排水集水システムの系統図（ロータンク方式）

3 真空式排水集水システムの特徴

圧送システムと比較した真空式排水集水システムの特徴を以下に示す。

(1) メリット

① 汚水槽が不要

水回りには、検知櫛のみでよいので改修工事における躯体工事が容易となる。

② 真空集水管の勾配が不要

真空集水管の勾配は若干の先下がりが見望しいが、汚水を真空にて吸引するため、基本的には不要である。

③ 排水場所に動力電源が不要

真空ポンプにのみ動力が必要で、排水場所にポンプなどの動力機器を使用しなくてよい。

④ 使用する動力機器が、真空ポンプのみであるため、保守管理が容易である。

⑤ 真空集水タンクが床上的のため外部より点検が容易、かつ負圧であるため補修が容易である。

⑥ 真空集水管口径が小口径である。

真空集水管は50Aと小口径のため、施工性がよい。

⑦ 消泡性がある。

洗剤などを含む排水でも、圧送式の場合の排水ポンプなどによる攪拌を伴わないため、泡が発生せず排水性がよい。

- ⑧ 真空ポンプの間欠運転による真空保持のため、動力の稼働時間が少ない。
- ⑨ 汚水、臭気の漏れが発生しづらい。
真空集水管内は負圧のため汚水の飛散及び臭気が漏れづらい。

(2) デメリット

- ① 連続排水する場合、対応が必要となる。
真空集水タンク内に吸引された汚水は、ある一定量になると、大気開放弁及び排水電動弁が開き排水されるが、この時、真空集水タンクの真空は破壊され、吸引不可能となる。
このため、真空集水タンクの並列設置や検知柵による容量の余裕が必要となる。
- ② 汚水（汚物）が、圧送式のポンプ吐出管と同様に常時立ち上がり配管内に滞留する。
- ③ 真空集水タンクの真空破壊時に吸気音が発生する。

瞬時的に大気開放弁より吸引音が発生するので、真空集水タンクの設置場所によってはサイレンサーが必要となる。

- ④ 真空集水管内の負圧を利用し、大気圧により汚水を押し込むので、吸引揚程は最大でも8.0m程度となる。
- ⑤ 停電時には排水できない。

改修工事にて設置する場合における真空式排水集水システム（検知柵方式）と圧送システム（ポンプアップ方式）との比較一覧を表1に示す。

なお、真空式排水集水システムでは、タンク密結床上排水便器のみを使用するエリアは、図2に示すロータンク方式の真空式排水集水システムを採用することにより床下ピットが不要となる。また、流し台の排水、床の高低差を利用して検知柵を床上に設置できる場合も排水ピットは不要である。

表1 排水システム比較表

比較項目	真空式排水集水システム (検知柵方式)	圧送システム (ポンプアップ方式)	備考
汚水槽の必要性	不要(検知柵は要)	要	圧送システムは既存施設の場合汚水槽の築造が必要
設置スペース	△	○	真空式排水集水システムは検知柵ユニット、集水ユニットが必要
動力設備	3φ-200V	3φ-200V	
停電時	×	△	圧送システムは汚水槽の余裕の範囲で使用可能
水道使用量	○	○	
排水管の口径	50mm	80mm以上	汚物用水中ポンプを用いるポンプアップ方式の配管は、一般に口径80mm以上を用いる。
排水管の高低差の制限	8m以下	随意	
排水管の延長及び勾配の制限	○(真空集水管)	△(ポンプアップ配管)	真空式は、真空集水管の延長及び勾配の制限が少ないため、勾配が取れない延長の長い配管も対応可能
排水管の凸凹に対する適応	△	×	
通気管の必要性	不要	要	圧送システムは排水槽通気管口径は50A以上
騒音	○	○	
臭気	○	△	圧送システムは汚水槽からの臭気が問題
消泡性能	○	△	圧送システムはポンプインペラーで攪拌
増設・移設対応	○	△	真空式は、検知柵ユニット及び真空集水管(既設真空集水管の任意の位置より分岐可能)を設けることにより可能
保守管理	○	△	真空式は、システムが負圧のため外部補修が容易 圧送システムの汚水槽は6か月に1度の清掃必要
イニシャルコスト	△	△(汚水槽の築造を含む)	圧送システムにおいて、汚水槽の築造が不要な場合はその費用を減らすことができる。
ランニングコスト	○	△	圧送システムは、汚水槽の清掃費が高額となる。 動力は、真空式、圧送システム共にわずかである。

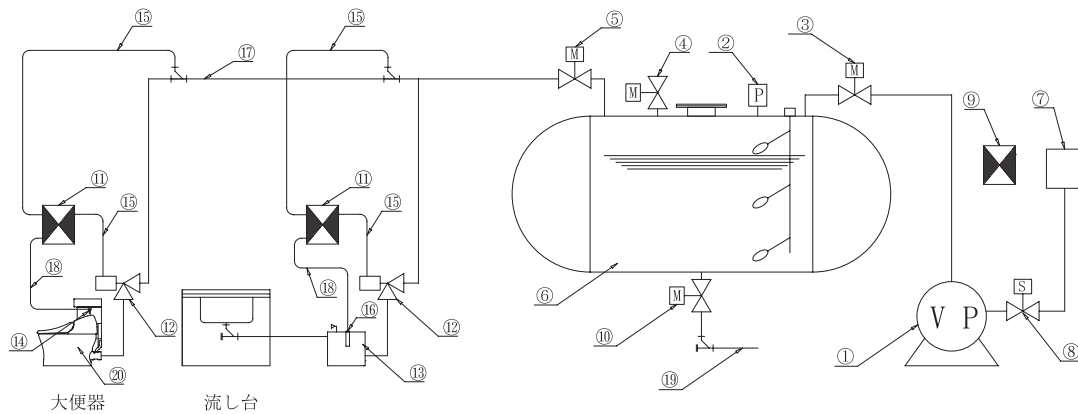
4 テストプラント概要

研究・開発用に作られたテストプラントの系統を
図3に示す。

真空集水タンクの写真を図4に、真空集水管の

写真を図5に示す。

実機では大便器と検知柵を併用することを想定し、本テストプラントでは両方式を用いている。また、テストプラントの真空集水タンクは、大容量の試験を考慮し、大きな容量となっている。



番号	名称	仕様等	番号	名称	仕様等
①	真空ポンプ	370L/min at20kPa 1.5kw	⑪	真空排水弁操作盤	
②	圧カスイッチ	真空ポンプ制御用	⑫	真空排水弁	真空圧駆動 SUS304製 50A
③	吸引用電磁弁	25A	⑬	検知柵	SUS304製 54L (有効27L)
④	大気開放弁	125A	⑭	傾斜スイッチ	洗浄レバーに取付け
⑤	排水吸引電動弁	50A	⑮	真空チューブ	外径8mm
⑥	真空集水タンク	SUS304製 2000L	⑯	水位検知器	単極
⑦	補給水槽	鋼板製 100L	⑰	真空集水管	透明アクリル管 50A
⑧	給水電磁弁	20A	⑱	排水管	VP 100A
⑨	真空ユニット操作盤		⑳	密結形洋風便器	C1200R 大8L
⑩	排水電動弁	100A			

図3 テストプラントの系統図



図4 真空集水タンク



図5 真空集水管路

5 テストプラント計測結果

便器及び流し台等の排水の流れも通常通りであり、便器内のトラップ水位も安定していた。

テストプラントでは真空集水管の主要な部分に透明アクリル樹脂を使用しているため、汚水及び汚物の吸引水の状況を確認できた。

立管部は塊りとしての満水状態で吸引され、横管部では塊りが崩れ、液体の一部は真空集水タンクに流入している。真空集水管内に残った固形物及び液体も数回の排水により真空集水タンクに流入した。

(1) 真空度と吸引速度

過去の実験から、本システムは吸引速度を2.5 m/s ~ 3.0 m/s 程度に設定することにより、汚物が付着しない、騒音の少ない安定した集水ができることが確認されている。一般に、吸引揚程 + 約 1 m 程度の真空度にするによりこの吸引速度となる。ここでは、真空度と吸引速度の関係を示し、適切な真空度設定値を確認した。

表2 真空度と速度

真空度設定値(MPa)		速度(m/s)	
ON	OFF	立管部	横管部
-0.04	-0.05	2.3	3.0
-0.05	-0.06	2.7	3.8
-0.06	-0.07	4.3	4.3

※1 吸引揚程約 3 m

※2 立管部の速度は、汚物 + 汚水が 1 m 上昇する時間より計算している。

※3 横管部の速度は、汚水が 1 m 移動する時間より計算している。

一般の使用においては、表2を基に概略設定を行い、運用時に吸引量等を確認し、微調整を行い、システムとして最適な状態に設定している。

その際、真空排水弁の作動に必要な負圧を確実に確保することも必要である。

(2) 真空度と騒音

両方式の各位置での各真空度設定値における騒音値を表3に示す。

表3 真空度と騒音値

真空度設定値 (MPa)		騒音値 (dB)	
ON	OFF	便器排水時	暗騒音
-0.04	-0.05	73	58
-0.05	-0.06	74	
-0.06	-0.07	75	
従来便器(ブース内)		71	53

※1 便器、真空排水弁、真空集水管の位置が近い便器より前方 1 m、上方 1 m の位置で測定したデータある。

便器排水時の騒音は、表3に示す通り70dB台であり、従来型の重力式排水と同程度であった。なお、大気開放弁開放時の騒音値は、大気開放弁の前方 1 m、上方 1 m の位置で約104dBであった。

(3) きょう雑物流下試験結果

便器にきょう雑物を投入し、吸引させた結果を表4に示す。

表4 きょう雑物流下結果

きょう雑物	形状	同時投入数	流下結果
布切れ	ハンカチ(500mm角)	2	良
ビニル袋	ゴミ袋40L	1	不
	スーパーホリ袋	1	良
男性用避妊具		2	良
女性用衛生用品	ナプキン(大)	2	良
パンスト		1	良
貨幣	500円、100円、5円	各1	良

※1 「良」と記載されているきょう雑物に関しては、数回の排水により真空集水タンクに流入し、特に支障とならないことが確認された。

(4) 逆勾配・凸凹配管

排水器具より必要揚程吸引し、若干の勾配にて真空集水タンクへ汚水を流し込み集水するのを理想としている。

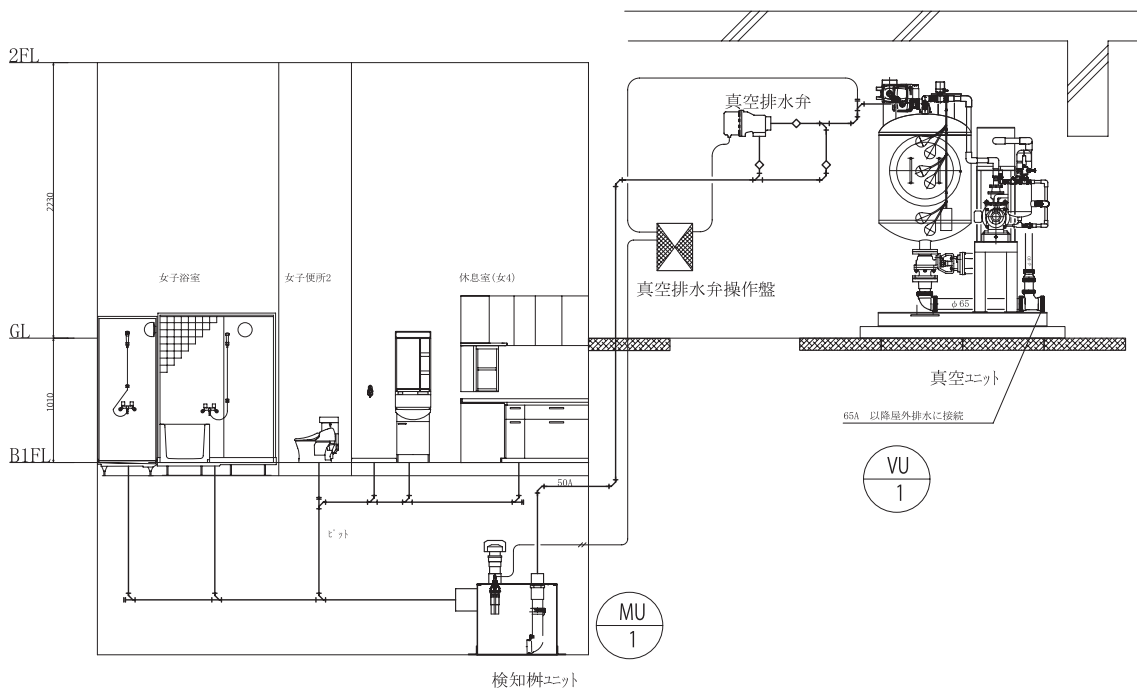
テストプラントでは、故意に1/100の逆勾配や300mmの凸凹配管を設定しての排水実験を行い、逆勾配や凹部においても問題なく汚水は吸引され排水されることを確認したが、汚水が管内に滞留することとなる。

真空式排水集水システムは、管路が大気に開放されていないため、液体の蒸発による汚物の堆積は一般の重力排水より少ないと思われるが、使用条件等を十分確認する必要がある。

6 導入事例

既存駅舎に職員休息室用のトイレ及び風呂等を設置するにあたり、真空式排水集水システムを導入した海浜幕張駅舎の系統図を図6に示す。

システム対象室は女子休息室里で、排水負荷が少ないこと及び使用人数が限られているため、検知柵ユニット（検知柵、電極、通気弁、真空排水弁、操作盤等をユニット化したもの。以下同様）を有効高さ1m程度のピット内に設置する方式とした。また、単独タンクの真空ユニット（真空集水タンク、真空ポンプ、弁類等をユニット化したもの。以下同様）は、改札階床下に設置した。



記号	機器名称	構成・仕様	台数	設置場所
VU-1	真空ユニット (断続排水式)	集水タンク φ650×1500H×1	1	改札階床下
		真空ポンプ φ3-200V×1.5Kw×1		
		電動バルブ、補給水槽、操作盤他付属品1式		
MU-1	検知柵ユニット	検知柵 SUS製450×450×400H 電極(単極)	1	ピット内
		通気弁、真空排水弁、操作盤他付属品1式		

図6 海浜幕張駅舎の真空式排水集水システム系統図



図7 海浜幕張駅舎改札階下の真空ユニット設置状況

真空ユニットの設置状況の写真を図7に示す。

海浜幕張駅舎にての本システムを導入した経緯は、次の通りであった。

新たに設ける職員休息室が半地下のため、自然勾配を利用した排水設備の設置は不可能であった。また、圧送システムを採用した場合に、汚水槽及びポンプの保守、臭気対策についての不安を払拭できなかったことが、導入の最大理由であった。

イニシャルコスト抑制の観点から真空集水タンクを1基としたため、真空集水タンクの排水時はシステム停止となる。この排水開始から設定真空度作成までの約2分間に、洋風便器（洗浄水量8L）4回分以上にあたる34Lの排水が可能となる電極設定にすることで利用者の了承が得られたため2タンク方式とはしていない。

このような利用上の制約はあるが、休息室には特別の説明もなく、通常の重力式排水同様の利用がされているが、設置後1.5年経過した現在、臭気、騒音の問題は発生していない。

本設備は、改修工事一括工事の一部として発注され、ごくわずかの電力使用料で運用されている。

7 おわりに

真空式排水集水システムは、真空集水管の勾配が不要、かつ、利用場所に動力電源を必要としないため、水場の場所を選ばない。そのため、既存建物の用途変更や模様替えに対し、自由な計画ができるほか、次のような利用及び効果が期待できる。

(1) 地下街のトイレ設置

既存の地下街に排水ピットを設置することは一般に困難である。新たなトイレの設置、多機能トイレを一般トイレと離れた場所に設ける場合等に有効な場合がある。

(2) 介護用トイレへの採用

病院や介護施設等の個室において、本システムを導入することにより、従来のポータブル便器に替わり、ベッドの直近に洋風便器を設けることが可能となる。また、真空集水管と真空排水弁を増設することにより移設・増設も可能となる。

(3) 超節水トイレシステムへの展開

真空排水弁を用いたトイレシステムを開発することにより、理論上は従来の便器のように汚物吸引（サイホン作用）に必要な洗浄水を必要とせず、配管内の洗浄効果も期待できることから、更なる節水便器の開発が期待される。

最後に、本調査にあたり東日本旅客鉄道株式会社、日本管材センター株式会社殿に現地調査及び資料の提供等のご協力いただいたことに対し、感謝の意を表します。