

## 研究助成実施報告書

助成実施年度	2022 年度
研究課題（タイトル）	新規リン吸着膜を活用した都市下水中有機物とリン同時回収技術の開発
研究者名※	角田 貴之
所属組織※	中央大学 理工学部 人間総合理工学科 助教
研究種別	研究助成
研究分野	都市環境工学
助成金額	150 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

( ) は、報告書提出時所属先。



			)	)			
膜供給水	28	36.1	23.2	4.4	0.38	0.05	0.38
膜透過水	0.2	16.3	18.0	図-4 参照	0.006	0.003	0.005

ろ過実験を2回繰り返した。1回目の試験（実験1）では未使用膜を装着し、目詰まり（膜ファウリング）の指標である膜間差圧（TMP）が50 kPaを超過した時点で運転を停止した。運転停止後に純水で逆洗（圧力：150 kPa、時間：60秒）した後、5000 mg/Lの次亜塩素酸ナトリウムに24時間浸漬することで膜洗浄した。膜の繰り返し利用可能性を評価するため、洗浄後の膜を装着し、前述したろ過条件で連続ろ過実験を実施した（実験2）。

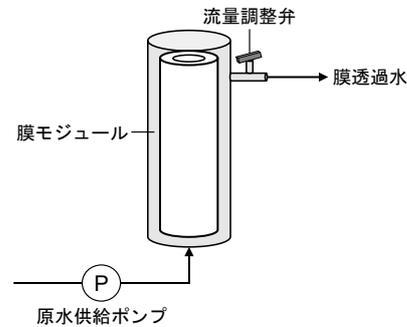


図1 膜ろ過装置の概略

### 実験結果と考察

#### 膜ファウリングの傾向

図2に実験1と実験2におけるTMPの経時変化を示す。2回の実験共に、約60時間の間、物理洗浄を伴わない条件で、ろ過運転を継続できた。懸濁性成分や有機物濃度が高い供給水にもかかわらず、膜ファウリングの急激な進行を抑制できることが明らかになった。本実験で用いた膜は、空隙率が非常に高いために流路の閉塞が発生しにくかったものと推測する。60時間経過において、実験1ではTMPが50 kPaを超えたのに対し、実験2では30 kPa以下に留まった。薬品洗浄後に膜ファウリングが緩和された原因として、膜特性が変化した可能性が示唆される<sup>1)</sup>。

図3に物理・化学洗浄前後における膜の純水透水性能を示す。実験1終了時に膜を逆洗した際の透水性能の回復率は25%だった一方で、NaClOに浸漬することで大幅に（92%）純水透水性能が回復した。膜表面および膜細孔内部に堆積した有機物がTMP上昇の原因となっており、物理洗浄では細孔内からの排出が困難であった

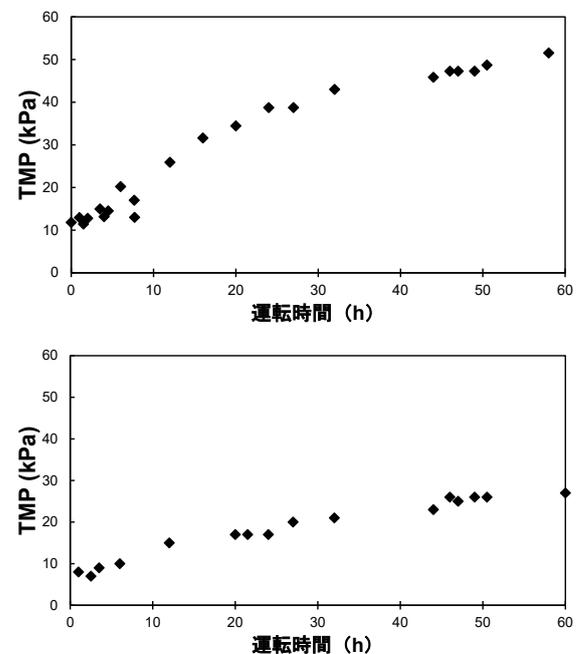


図2 TMPの経時変化(上:実験1、下:実験2)

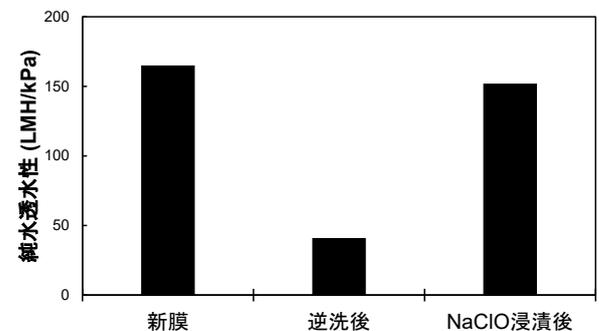


図3 膜の純水透水性

と推測される。リン吸着膜を安定的に運転するには、化学洗浄により、膜内部に蓄積する有機物を定期的に分解・除去する必要性が示された。

### リン除去性能

図4に実験1および2における膜透過水中のリン濃度の経時変化を示す。どちらの実験においても膜透過水中のリン濃度は0.5 mg/L以下で推移し、90%以上の除去

率を示した。炭酸イオンや有機物などの競合物質の存在下においても、高いリン除去性能を示した。膜透過水は、嫌気-無酸素-好気法（A<sub>2</sub>O法）における計画目標水質（1.0-3.0 mg-P/L）を十分に達成しており、従来の生物処理ならびに凝集等の物理処理に匹敵するリン除去性能を有することが明らかになった。膜を次亜塩素酸により薬品洗浄した後に実施した実験2においても高いリン除去性能を維持していたことから、本膜は、繰り返し利用できる可能性が示された。

2回のろ過試験終了後の膜を、次亜塩素酸洗浄した後にpH12の水酸化ナトリウム水溶液に浸漬し、膜に吸着したリンを脱着・回収した結果、全吸着量の20%程度を回収できた。リン酸水溶液を用いた試験では、80%以上のリンを回収できたことから、最初沈殿後流入水中に含まれる成分により、脱着阻害が発生したと推測する。今後は、リン吸着膜から効率的にリンを脱着・回収する方法について、検討を行う予定である。また、脱着液中に残存した有機物により、陽イオン交換樹脂によるリン酸精製を行った場合のリン純度は65%となった。より高純度なリン酸を精製するためには、膜洗浄工程における不純物の完全な除去達成する必要があることが示された。

### リン以外の成分の処理性能

表1（下段）に膜透過水の水質を示す。膜ろ過により、懸濁成分のほとんどが除去された清澄な処理水を得ることが出来た。全有機物（TOC）のうち92%は溶存態であったにもかかわらず、膜ろ過により50%以上の有機物が除去・回収できた。膜孔径が0.5 μm程度であったことを考えると、篩い分け作用ではなく、吸着により除去されたと考える。溶解性チッ素はほとんど除去できなかった一方で、Pb、CdやMnなどの溶解性無機成分も膜ろ過によって90%以上が除去できることが明らかになった。これらの無機成分は、正電荷の状態で存在していたイオン画分も多いことを鑑みると、水酸基のイオン交換反応だけでは説明できない。今後、無機成分の除去メカニズムについて、さらに詳細に検討する必要がある。

以上の結果から、リン吸着膜は最初沈殿後流入水のような高い汚濁負荷の供給水であっても、高い耐ファウリング性能に加えて、懸濁成分や溶解性有機物、有害無機成分などの高い処理性能

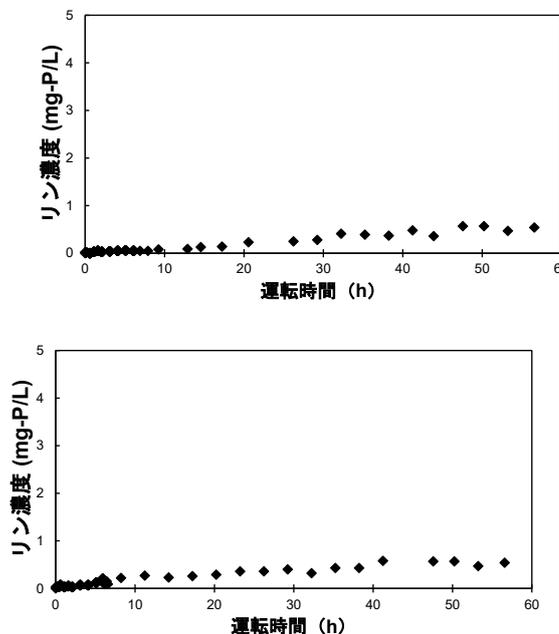


図4 膜透過水中リン濃度の経時変化  
（上：実験1、下：実験2）

が実証できたことから、未処理下水の簡易処理への適用が期待される。今後、実証試験により、適用可能性を検討したい。

### 3. 研究の成果

(注) 必要なページ数をご使用ください。

国際水協会 (International water association; IWA) スペシャリストグループ主催の国際会議 (2024年11月開催) において、本研究の成果を口頭発表することが決定した。詳細を下記に示す。

Takayuki Kakuda, Hayato Kawasaki, Miho Kuroiwa, Yumeno Matsuo, Sota Moriya, Yoshimasa Watanabe, Hiroshi Yamamura “Novel porous membrane with embedded zirconium hydroxide for recovery of high-purity phosphoric acid from wastewater”, International Water Association Nutrient Removal and Recovery Specialist Conference 2024, Brisben, Australia, November 2024.

### 4. 今後の課題

(注) 必要なページ数をご使用ください。

有機物の除去・回収率を向上させるために、運転中洗浄方法の改良や前処理による溶存有機物の粗大化等を検討する必要がある。リン回収率を向上させるための脱着方法の改良に加えて、回収したリン酸中に不純物が混入しないための膜洗浄方法の確立を目指す。