



### 3. 実験結果

#### 3.1 曝気強度弱における担体投入効果

夏季において曝気強度弱の担体投入効果を明確化するために、担体有、担体無の条件で 50 日間の連続実験を行い、それぞれの、TOC 除去性能、窒素除去性能、膜透過性能の比較を行った。

##### 3.1.1 TOC 除去能への効果

50 日間の連続実験における処理水中の TOC 濃度の経日変化を図 2 に示した。

実験開始から 30 日目以降の処理水中の平均 TOC 濃度は Run1 : 9.4 mg-C/L、Run2 : 6.7 mg-C/L であり、基質の濃度変動に影響されず非常に良好な結果となった。また、担体無の Run1 よりも担体有の Run2 の方が低い値であったことから、担体による有機物除去性能の向上が確認された。

30 日目以降の有機物除去率の平均値は Run1 : 94.9%、Run2 : 96.3% であった。両者ともに高い除去率であるが、担体を投入した反応槽ではさらに高い除去率を達成している。これは、担体に付着した BOD 酸化細菌や脱窒素菌によって有機物除去が促進されたためと考えられる。

##### 3.1.2 窒素除去性能への効果

50 日間の連続実験における処理水中の T-N 濃度の経日変化、30 日以降の処理水の平均各態窒素濃度をそれぞれ図 3、図 4 に示した。

実験開始から 30 日目以降の処理水の平均値は Run1 : 16.1 mg-N /L、Run2 : 15.3 mg-N /L であり担体有の方が若干ではあるが低い値であった。また、30 日目以降の除去率の平均値は Run1 : 66.8%、Run2 : 68.4% であり、膜分離法の処理能力の目安となる除去率 70% 以上かつ処理水中の窒素濃度 10 mg-N /L 以下を達成することはできなかったが、グラフより除去率は上昇傾向であるということが伺われるため、さらに長期的な運転を行えば除去率は向上すると思われる。

処理水中の窒素成分は硝酸性窒素の蓄積が確認された。これは脱窒不足を示唆する傾向であり、この原因として流入水の有機物濃度不足や無酸素時間の不足が考えられる。本実験では、基質として長岡浄化センターの沈砂池越流水を用いており、流入 TOC 濃度は 79.4 mg/L ~ 240.6 mg/L と大きく変動していたため、C/N 比が低くなり脱窒性能が低下したと考えられた。また、Run1 と Run2 のアンモニア性窒素の残存量は担体有の Run2 の方が少なく、担体有の系において硝化反応が良好に行われていた。

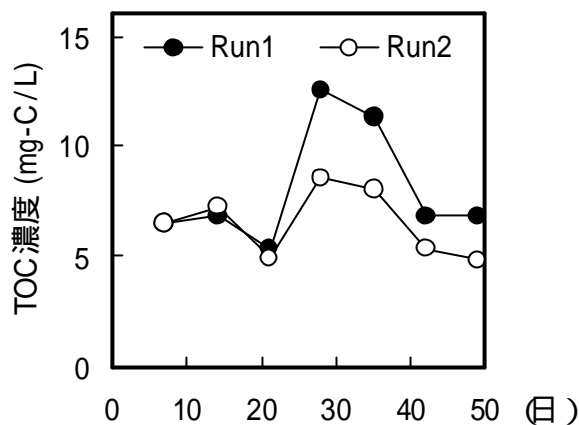


図 2 処理水中の TOC 濃度の経日変化

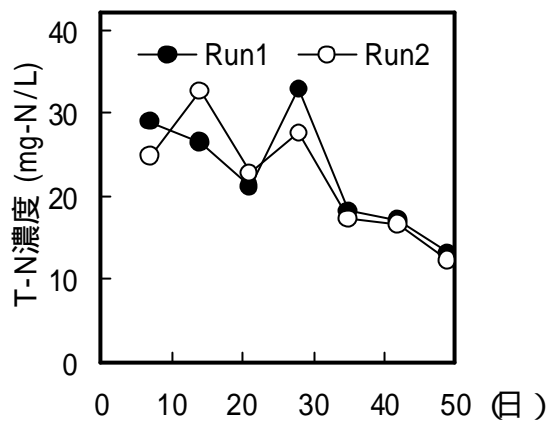


図 3 処理水中の T-N 濃度の経日変化

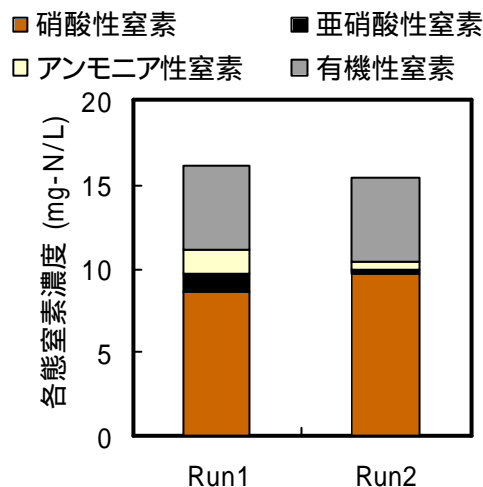


図 4 各態窒素濃度

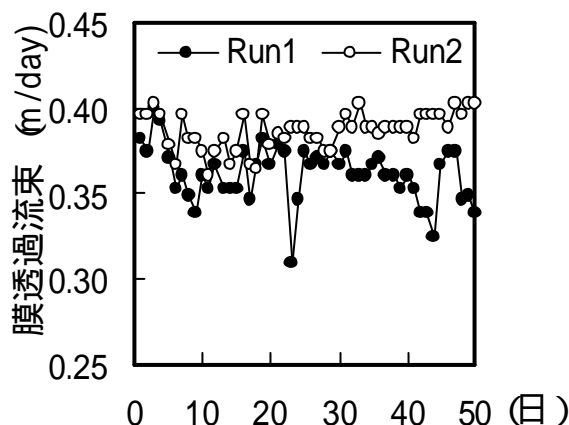


図 5 膜透過流束の経日変化

### 3.1.3 膜透過流束への効果

運転期間中の膜透過流束の経日変化、膜間差圧の経日変化をそれぞれ図5、図6に示した。

実験開始から30日目以降の平均膜透過流束はRun1:0.356 m/day、Run2:0.393 m/dayであり、担体無のRun1よりも担体有のRun2の方が設定値の0.4 m/dayに近い非常に安定した膜透過流束を維持していた。

また、実験開始から30日目以降の平均膜間差圧はRun1:16.0 kPa、Run2:12.2 kPaであり、担体無のRun1よりも担体有のRun2の方が差圧を低く維持していた。Run1は実験開始から40日目において、膜の薬品洗浄が必要とされる25 kPaに達した。また、最終膜間差圧はRun1:30.3 kPa、Run2:13.8 kPaであり、担体有のRun2は50日を経過しても薬品洗浄が必要な25kPaに達しなかった。

また、連続実験終了後の膜面付着物量はRun1:737 mg/m<sup>2</sup>、Run2:568 mg/m<sup>2</sup>であり、担体を投入した系の膜面付着物量は20%少なかった。

これらのことから、反応槽内の担体は曝気によって巻き上げられ、膜面に接触することによって膜面付着物の生成抑制及び剥離効果があり、高い膜透過性能の維持と膜間差圧を低く保持することが可能であると考えられた。

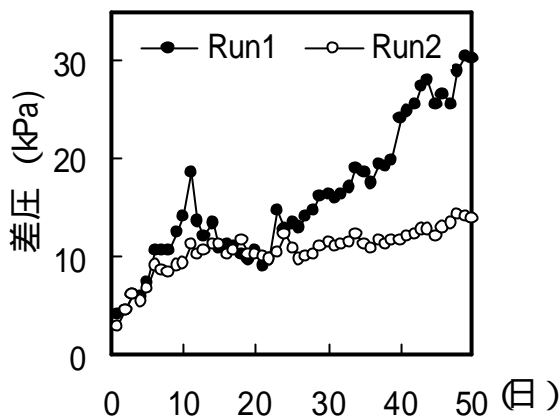


図6 膜間差圧の経日変化

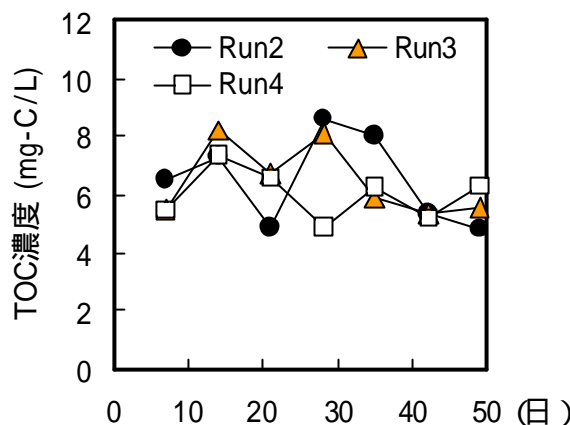


図7 処理水中のTOC濃度の経日変化

### 3.2 曝気強度弱～強における担体投入効果

担体投入系において曝気強度の影響を明確化するために、曝気強度を従来の1/3、1/2、1/1(従来同等)の3条件で比較を行った。

#### 3.2.1 有機物除去能への効果

50日間の連続実験における処理水中のTOC濃度の経日変化を図7に示した。

実験開始から30日目以降の処理水中の平均TOC濃度はRun2:6.7mg-C/L、Run3:6.2 mg-C/L、Run4:5.7 mg-C/Lであり、曝気強度に影響されず非常に良好な有機物除去ができた。

実験開始から30日目以降の有機物除去率の平均値はRun2:96.3%、Run3:96.6%、Run4:97.0%であり、すべての系で高い除去率が達成された。

#### 3.2.2 窒素除去性能への効果

50日間の連続実験における処理水中のT-N濃度の経日変化、30日以降の処理水中の平均各態窒素濃度をそれぞれ図8、図9に示した。

実験開始から30日目以降の処理水の平均値はRun2:15.3 mg-N/L、Run3:15.6 mg-N/L、Run4:18.6 mg-N/Lであり、曝

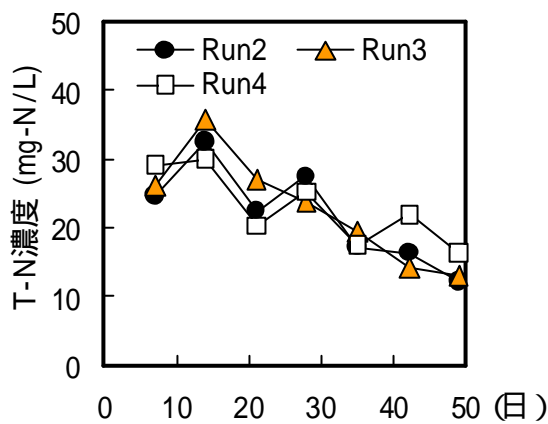


図8 処理水中のT-N濃度の経日変化

■ 硝酸性窒素      ■ 亜硝酸性窒素  
□ アンモニア性窒素      ■ 有機性窒素

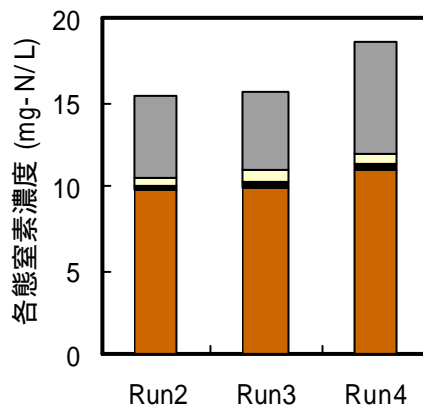


図9 各態窒素濃度

気強度を従来の 1/3、2/3 に設定した Run2、Run3 の条件で同等の結果となった。

また、実験開始から 30 日目以降の除去率の平均値は Run2 : 68.4%、Run3 : 67.8%、Run4 : 61.6% であり、Run2、Run3 において 70% 近い除去率を達成することができたが、処理水中の窒素濃度 10 mg/L 以下を達成することはできなかった。しかし、グラフより処理水中の窒素濃度は徐々に減少していることが確認できるため、さらに長期的な運転を行えば窒素除去性能は向上すると考えられる。

処理水中の窒素成分はすべての系において硝酸性窒素の蓄積が確認された。これは脱窒不足を示唆する傾向であり、この原因として流入水の有機物濃度不足や無酸素時間の不足が考えられる。本実験では、流入水の TOC 濃度が大きく変動していたことや、曝気が強いためにより無酸素 3 時間が十分に確保できなかったことが原因と考えられた。無酸素時間の不足に関しては、曝気強い系ほど硝酸性窒素の蓄積量が多くなる傾向が見られたことから推測された。

### 3.2.3 膜透過性能への効果

運転期間中の膜透過流束の経日変化、膜間差圧の経日変化をそれぞれ図 10、図 11 に示した。

実験開始から 30 日目以降の膜透過流束の平均値は Run2 : 0.393 m/day、Run3 : 0.403 m/day、Run4 : 0.397 m/day であり、曝気強度に関係なく、どの系でも高い膜透過流束を維持することができた。これより、担体を投入することにより、曝気強度を従来の 1/3 に低下させても安定した膜透過流束を維持することが可能であるということが示唆された。

実験開始から 30 日目以降の膜間差圧の平均値は Run2 : 12.2 kPa、Run3 : 12.4 kPa、Run4 : 16.8 kPa であり、曝気強度が弱い条件であっても差圧を低く維持することができた。しかし、曝気を従来通り強く設定した Run4 では差圧が上昇傾向であった。Run4 においては曝気が強すぎたために汚泥フロックが細分化し、膜目詰まりを進行させたと考えられた。

また、最終膜間差圧は Run2 : 13.8 kPa、Run3 : 11.5 kPa、Run4 : 21.9 kPa であり、どの系も膜の薬品洗浄が必要な 25 kPa に達することはなかった。

これらの結果より、反応槽内に担体を投入した系では曝気強度を低く設定した場合においても、膜透過流束を非常に高く維持することができ、膜間差圧の上昇抑制効果があることが示唆された。

また、連続実験終了後の膜面付着物量 Run2 : 568 mg/m<sup>2</sup>、Run3 : 470 mg/m<sup>2</sup>、Run4 : 627 mg/m<sup>2</sup> であった。したがって、Run3 が一番膜面付着物量が少なかったことから、曝気線速度 0.4 m/min が最適曝気強度であったと考えられる。

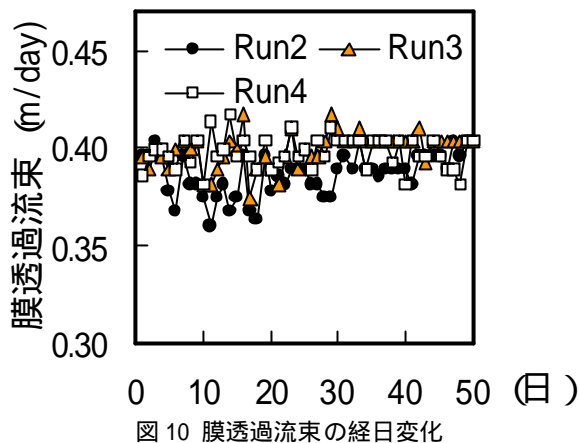


図 10 膜透過流束の経日変化

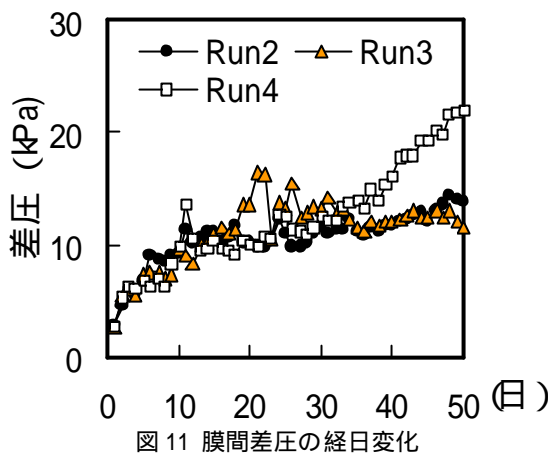


図 11 膜間差圧の経日変化

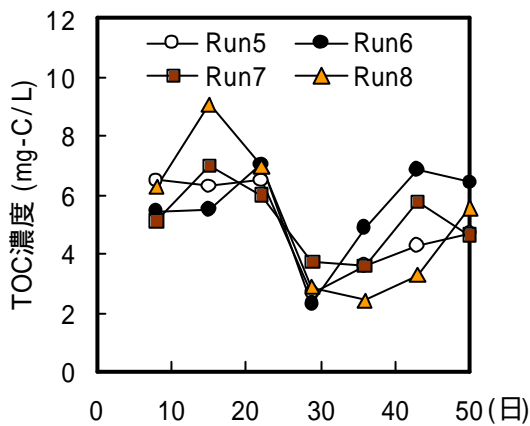


図 12 処理水中の TOC 濃度の経日変化

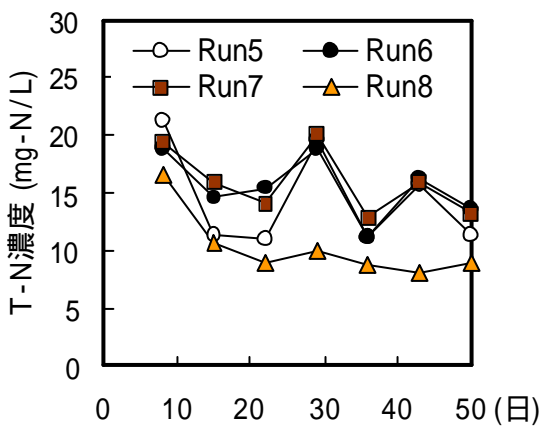


図 13 処理水中の T-N 濃度の経日変化

### 3.3 冬季における連続実験

以下に示すような種々の条件で比較を行うために、50日の連続実験を行った。

曝気強度中（従来の 2/3）における担体の有無による比較

曝気強度中（従来の 2/3）の担体無と曝気強度弱（従来の 1/3）の担体有による比較

曝気：非曝気のサイクル 30分:30分と 20分:40分による比較

#### 3.3.1 有機物除去能への効果

50日間の連続実験における処理水中の TOC 濃度の経日変化を図 12 に示した。

30日以降の処理水中の平均 TOC 濃度は Run5:6.0 mg-C/L、Run6:4.2 mg-C/L、Run7:4.6 mg-C/L、Run8:3.7 mg-C/L、であり、冬季においても基質の濃度に影響されず非常に良好な結果となった。

30日以降の有機物除去率の平均値は Run5:94.7%、Run6:96.3%、Run7:95.9%、Run8:96.7%であった。すべての系において 90%以上という高い除去率を達成することができた。TOC 除去率に関しては夏季の運転結果とほぼ同等であったことから、水温の低下による生物活性の低下はなかったと思われる。

#### 3.3.2 窒素除去性能への効果

50日間の連続実験における処理水中の T-N 濃度の経日変化、各態窒素濃度をそれぞれ図 13、図 14 に示した。

30日以降の処理水の平均値は Run5:13.6 mg-N/L、Run6:12.7 mg-N/L、Run7:14.0 mg-N/L、Run8:8.6 mg-N/L であり、すべての系において 15 mg-N/L 以下の窒素濃度であった。さらに、非曝気時間を長くした Run8 において 10 mg-N/L 以下を達成することができた。また、Run5 と Run6 を比較すると、担体有の方が若干ではあるが低い値であった。

また、運転期間中の窒素除去率の平均値は Run5:54.6%、Run6:57.6%、Run7:53.5%、Run8:71.3%であり、非曝気時間を長くした Run8 において窒素除去率 70%以上を達成することができた。

運転期間中の処理水の窒素成分の平均値を見ると全ての系において硝酸性窒素の蓄積が確認された。これも夏季と同様に脱窒不足を示唆する傾向であり、この原因として流入水の有機物濃度不足や無酸素時間の不足が考えられた。しかし、曝気停止時間を長くした Run8 では硝酸性窒素の蓄積が他系に比べて少なく、全窒素濃度も低くすることができた。

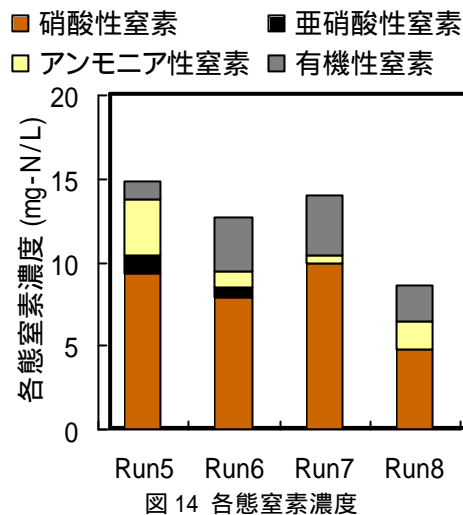


図 14 各態窒素濃度

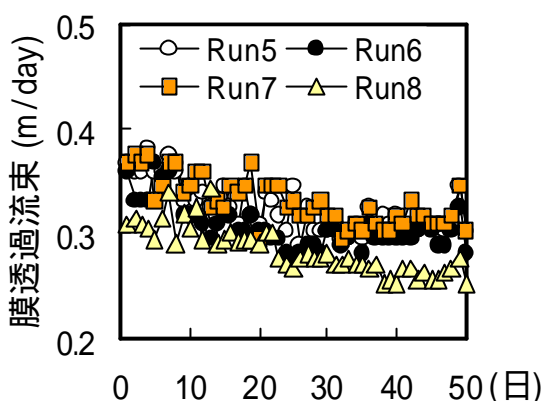


図 15 膜透過流束の経日変化

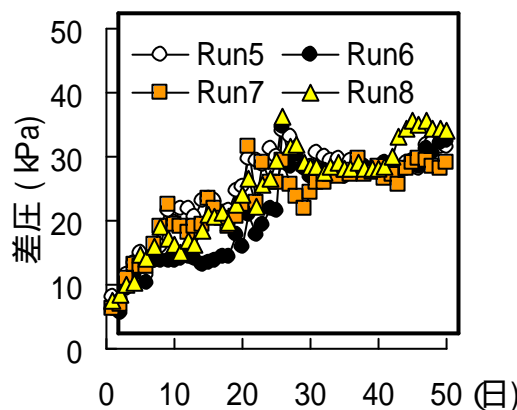


図 16 膜間差圧の経日変化

また、担体の有無を比較すると、担体有の Run5 と担体無の Run6 では担体有の方がアンモニア性窒素濃度が低かったことから、担体を投入したことによって硝化反応が促進したことが確認された。これは、夏季の運転結果と同じ傾向であった。夏季と冬季におけるアンモニア性窒素濃度を比較すると、冬季の方が処理水中のアンモニア性窒素濃度が高いことが確認されたため、低温による硝化活性の低下が起きていたと考えられた。

#### 3.3.3 膜透過性能への効果

運転期間中の膜透過流束の経日変化、膜間差圧の経日変化をそれぞれ図 15、図 16 に示した。

30 日以降の平均膜透過流束は Run5 : 0.297 m/day、Run6 : 0.309 m/day、Run7 : 0.312 m/day、Run8 : 0.264 m/day であり、担体有で曝気線速度を 0.4 m/min、0.2 m/min に設定した Run6、Run7 において、比較的高い膜透過性能を維持することができたが、すべての系で膜透過流束は徐々に低下したことがわかる。また、担体有の Run6 と担体無の Run5 では担体有の方が膜透過流束を高く維持することができた。また、担体無で曝気線速度を 0.4 m/day に設定した Run5 と担体有で曝気線速度を 0.2 m/min に設定した Run7 を比較したところ、run7 の方が高い膜透過流束を維持していたことから、担体投入により曝気強度を下げることが可能なことがこの結果からも示された。また、Run8 は他系に比べて低い膜透過流束であったが、これは処理水の吸引時間が短いために吸引速度を上げた運転を行ったためである。

また、30 日以降の平均膜間差圧は Run5 : 28.4 kPa、Run6 : 29.3 kPa、Run7 : 27.5 kPa、Run8 : 30.6 kPa であり、担体無の Run6 の方が担体有の Run5 よりも低いという結果となった。また、全 Run とも実験開始から 25 日目には膜の薬品洗浄が必要とされる 25 kPa に達した。この結果は夏季の運転と比較して非常に早く、夏季では担体を入れた系では曝気強度によらず 25 kPa に達しなかった。これらの結果より、反応槽内に担体を投入することにより、膜透過流束を高く維持することができることは確認できたが、今回は明確な膜間差圧の上昇抑制効果は確認されなかった。

また、夏季の運転結果と比較すると、冬季の運転では膜透過流束が非常に低いことが確認された。これは、冬季間は粘性が上昇し膜透過性能が低下すること報告されており<sup>1)</sup>、本実験においても水温が 10 前後と非常に低かったことから膜透過流束の低下が起こったと考えられる。

#### 4 まとめ

本研究では、実下水処理において一槽間欠曝気式膜分離活性汚泥法に担体を投入した実験により以下のことが知見として得られた。

##### 4.1 有機物除去能

- ・ 夏季の運転において、曝気線速度 0.2 m/min で担体の有無による比較をしたところ、担体有の系の方が高い TOC 除去率を示した。
- ・ 冬季の運転において、曝気線速度 0.4 m/min で担体の有無による比較をしたところ、両者とも 90% 以上で同等の除去率であった。
- ・ 曝気強度によらずすべての系において MLSS が増加しに

くい傾向にあったが、TOC 除去率は 90% 以上を維持し、処理水中の TOC 濃度も 10 mg-C/L 以下であった。

##### 4.2 窒素除去能

- ・ 夏季、冬季とも担体の有無を比較した実験では、担体有の方が高い窒素除去率を示した。
- ・ 曝気強度を比較した結果、夏季では曝気線速度を 0.2 m/min、0.4 m/min に設定した条件において 70% 近い窒素除去率を達成した。
- ・ 曝気：非曝気時間を 20 : 40 分と今までより非曝気時間を延長した系において、冬季の運転にかかわらず窒素除去率 70% 以上、処理水中窒素濃度 10 mg-N/L 以下を達成した。
- ・ 昨年度の人工排水の結果と比較すると除去率は低かった。これは、無酸素時間が短かったことや基質中の有機物濃度が人工廃水よりも低かったために、C / N 比が低く、脱窒が不利であったということが考えられる。

##### 4.3 膜透過性能

- ・ 夏季の運転、冬季の運転のいずれも、担体有の系の方が担体無の系よりも高い膜透過性能を維持することができた。
- ・ 担体有と担体無では担体有の方が膜面付着物が少なかったことから、担体は膜面付着物の生成抑制及び剥離効果があることがわかった。
- ・ 夏季の運転では、曝気線速度を 0.2 m/min、0.4 m/min に設定した系において差圧を非常に低く保持することができたが、冬季の運転では曝気強度によらずどの系においても差圧が上昇する傾向であった。
- ・ 夏季の運転と冬季の運転の膜透過流束を比較すると、夏季では非常に高く維持されているのに対し、冬季ではいずれの系も減少傾向にあった。これは低温によって汚泥の粘性が高くなり、膜透過性能を低下させたと考えられた。

#### 5 参考文献

- 1) 太田秀司、村上孝雄：膜分離活性汚泥法の技術評価に関する報告書、日本下水道事業団 技術開発部、2003
- 2) 田村佳之：一槽間欠曝気式膜分離活性汚泥法における担体投入効果、長岡技術科学大学修士論文、2003
- 3) 田村佳之、松本拓郎ら：膜と担体の複合利用による排水処理の効率化、第 38 回日本水環境学会年会講演集、p78、2004