

下水道水処理施設の省エネルギー化に関する検討

1. 目的

札幌市は2020年2月に札幌市ゼロカーボンシティ宣言を行い、2050年には札幌市内から排出される温室効果ガス排出量を実質ゼロにすることを目指し、市民や事業者と一体となって脱炭素社会の実現に取り組んでいく考えを表明した。

そこで、札幌市の下水道水処理施設（水再生プラザ）においてエネルギー消費量が大きいブロー設備に着目し、現有設備における省エネルギー性能評価と課題の抽出を行い、エネルギー削減の方策を検討する。また、今後の設備更新を見据え、処理能力に見合った効果的・効率的な設備の選定や省エネルギーに資する運転制御方法等、将来に向けた省エネルギー化の検討を行い、水再生プラザからの温室効果ガス排出量の削減等に寄与することを目的とする。

2. 検討の概要

1) 現有設備における省エネルギー性能の評価と考察

反応タンクに送られた空気は、有機分やアンモニアの分解に使われるほか、微生物の呼吸で消費され、余剰分はMLDO（溶存酸素）となる。このうち、MLDOと微生物量（MLSS濃度）は運転条件で制御できることから、本調査では、MLDOとMLSS濃度の見直しによる空気量の削減効果について、「下水道施設的设计指針」の必要空気量算出方法を用いて予測を行った。

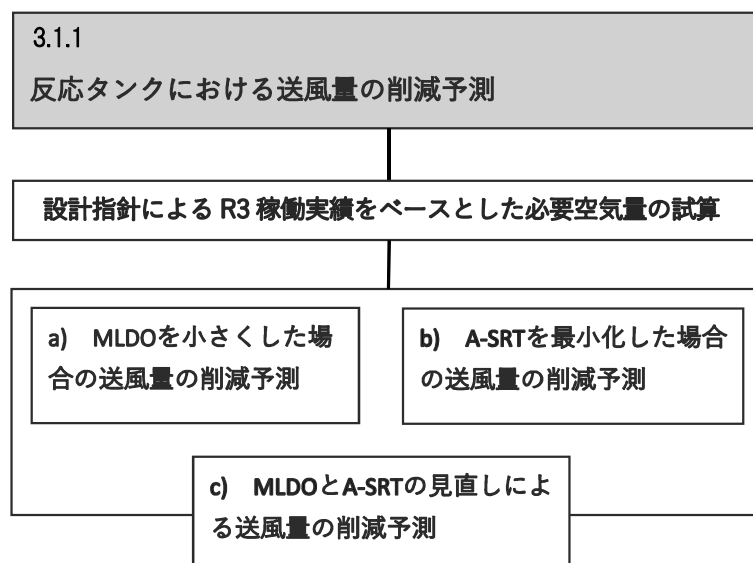
2) 設備更新を見据えた省エネルギー化の検討

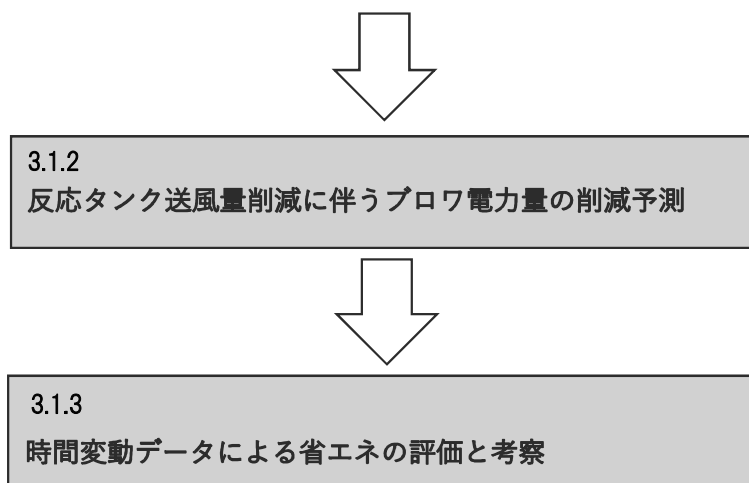
将来的な設備更新を見据えて、各水再生プラザの処理水量や必要空気量に見合ったエネルギー効率の優れたブロー等設備の導入及びエネルギー削減に有効な対策について提案を行い、消費電力量の削減効果を予測した。

3. 検討内容

3.1 現有設備における省エネルギー性能の評価と考察

本市における各水再生プラザの反応タンク設備について令和3年度の稼働実績をもとに、図-1に示すフローに基づき省エネルギー性能の評価及び考察を行った。





図－1 現有設備における省エネルギー性能の評価と考察

3.1.1 反応タンクにおける送風量の削減予測

反応タンクに送られた空気は、BOD の酸化やアンモニアの硝化、微生物の内生呼吸に消費され、余剰分は溶存酸素となる。こうした反応タンク内の挙動や反応タンクの容量、散気装置の効率などから必要空気量が求められる。

「下水道施設計画・設計指針と解説 2019 年版：後編」には必要空気量の計算方法が示されているが、あくまで設計用であり、実際の運転データから求められる必要空気量とブロワ送風量の実績値には差異が生じる。そこで、今回の調査業務では、設計用の算出方法をベースとして、実運用に補正した必要空気量算出シートをエクセルで作成した。

この算出シートを基本シートとして活用し、MLDO などの運転条件を変更した場合の送風量の削減予測を行うこととした。

具体的な作成手順と活用方法は以下のとおりである。

- ① 水質試験の実施日で、雨の影響を受けず水量が安定している日を春夏秋冬の代表日として選定し（表－1）、代表日の水質データや反応タンクの諸条件を用い、設計用の計算方法により必要空気量を算出する。その際、BOD や SS の汚泥転換率など各種係数は、空気量に余裕が出るような設定になっていると考えられることから、数値に幅がある係数については、必要空気量が小さくなる値を採用した。
- ② 各種データから算出された必要空気量と実送風量が一致するよう、調整係数欄により補正を行い、必要空気量算出用基本シートを作成した（別途 Excel 資料参照）。
- ③ ②で作成した必要空気量算出用基本シートの MLDO や MLSS 濃度を変えることで、送風量の削減効果を予測する。

表－1 各水再生プラザにおける代表日一覧（令和3年度稼働実績ベース）

水再生プラザ名	春(4～6月)	夏(7～9月)	秋(10～12月)	冬(1～3月)
創成川第一	R3.5.12	R3.9.16	R3.11.17	R4.2.2
創成川第二	R3.6.9	R3.9.29	R3.10.27	R4.1.26
拓北	R3.4.28	R3.9.29	R3.11.4	R4.1.6
伏古川	R3.5.12	R3.7.28	R3.10.14	R4.1.19
茨戸	R3.4.28	R3.7.14	R3.10.27	R4.1.26
豊平川第一	R3.6.2	R3.7.21	R3.10.27	R4.2.16
豊平川第二	R3.6.2	R3.7.28	R3.10.27	R4.2.16
厚別	R3.6.2	R3.7.27	R3.12.22	R4.2.2
定山溪	R3.5.12	R3.9.8	R3.11.17	R4.2.24
東部	R3.6.23	R3.9.16	R3.10.13	R4.1.26
新川第一	R3.5.12	R3.9.16	R3.10.13	R4.2.2
新川第二	R3.6.30	R3.9.16	R3.10.13	R4.1.26
手稲	R3.5.26	R3.9.1	R3.12.8	R4.1.19

a) MLDO を小さくした場合の送風量の削減予測

各水再生プラザにおける、代表日の実績 MLDO は表－2 のとおりである。

表－2 各水再生プラザにおける MLDO の実績値（令和3年度稼働実績ベース）

（後段好気槽の平均：mg/L）

水再生プラザ名	春(4～6月)	夏(7～9月)	秋(10～12月)	冬(1～3月)	年平均
創成川第一	5.0	3.4	3.8	5.8	4.5
創成川第二	3.9	4.2	4.6	5.1	4.5
拓北	3.5	3.5	3.6	4.1	3.7
伏古川	4.2	3.7	3.7	4.6	4.0
茨戸	2.1	1.7	1.8	2.9	2.1
豊平川第一	2.2	1.3	1.5	1.6	1.6
豊平川第二	2.0	1.7	2.6	2.7	2.2
厚別	3.3	2.1	3.5	3.3	3.1
定山溪	2.0	1.6	1.8	2.0	1.8
東部	1.5	1.5	1.5	1.8	1.6
新川第一	4.1	5.4	2.8	3.4	3.9
新川第二	2.5	2.1	2.2	3.5	2.6
手稲	5.2	2.9	5.4	6.3	4.9

「下水道施設計画・設計指針と解説 2019年版：後編」において、標準法では「実施設の運転実績によると、反応タンク末端の溶存酸素濃度を 1.5～2.0mg/L 程度に管理すれば、硝化反応は遅滞

なく進行する」とされている。しかしながら、表-2に示すとおり本市においては東部水再生プラザを除き MLDO の実績値はこれより高い値となっている。そこで、必要空気量算出用基本シートにおいて MLDO 値を 1.5mg/L とした場合の必要空気量を試算した。各プラザの必要空気量算出シートは参考資料に掲載している。

算出された必要空気量から送風量の削減率を算出し表-3にまとめた。

表-3 MLDO を 1.5mg/L とした場合の送風量の削減効果（令和3年度稼働実績ベース）

水再生プラザ名	春(4~6月)	夏(7~9月)	秋(10~12月)	冬(1~3月)	年平均
創成川第一	41%	25%	28%	47%	35%
創成川第二	29%	35%	38%	39%	35%
拓北	23%	26%	26%	30%	26%
伏古川	31%	30%	29%	35%	31%
茨戸	6%	3%	4%	15%	7%
豊平川第一	8%	-2%	0%	1%	2%
豊平川第二	6%	3%	13%	13%	9%
厚別	23%	8%	24%	21%	19%
定山溪	11%	2%	7%	10%	8%
東部	0%	0%	0%	3%	1%
新川第一	30%	49%	17%	21%	29%
新川第二	12%	8%	9%	22%	13%
手稲	43%	18%	43%	51%	39%

MLDO の実績値が高いプラザでは、MLDO を 1.5mg/L とすることで、20~40%程度の送風量が削減できる結果となった。

b) A-SRT を最小化した場合の送風量の削減予測

MLSS 濃度は微生物や細菌の量を表す指標であり、MLSS 濃度が高ければ、内生呼吸による酸素必要量も多くなる。したがって、MLSS 濃度を小さくすることで送風量の削減につながる。

また、硝化反応を促進させるためには、硝化菌の増殖に必要な A-SRT を確保する必要がある。ここでは、硝化が確保できる最小の A-SRT で運転した場合、つまり最小 MLSS 濃度で硝化促進運転を行った場合の送風量の削減を予測する。

図-2 及び図-3 は、水質試験日における反応タンクの水温と A-SRT の実績値の相関を表したものである。また、水温ごとに必要とされる最小 A-SRT の理論値もグラフに加えた。

$$\text{※水温ごとの最小 A-SRT 値の理論式} : A-SRT = 1.2 \times 9.20 \times \exp(-0.0466 \times T)$$

(創成川水再生プラザでの硝化率 90%以上の実績値を用いた式に 1.2 を乗じたもの)

これをみると、A-SRT の実績値は理論値よりも大きな値となっているところが多いことがわかる。これは、各水再生プラザにおいて硝化反応の確保を前提とした MLSS 管理を行っているが、硝化反応に必要な最小 MLSS 濃度よりも高いプラザが多いことを示している。

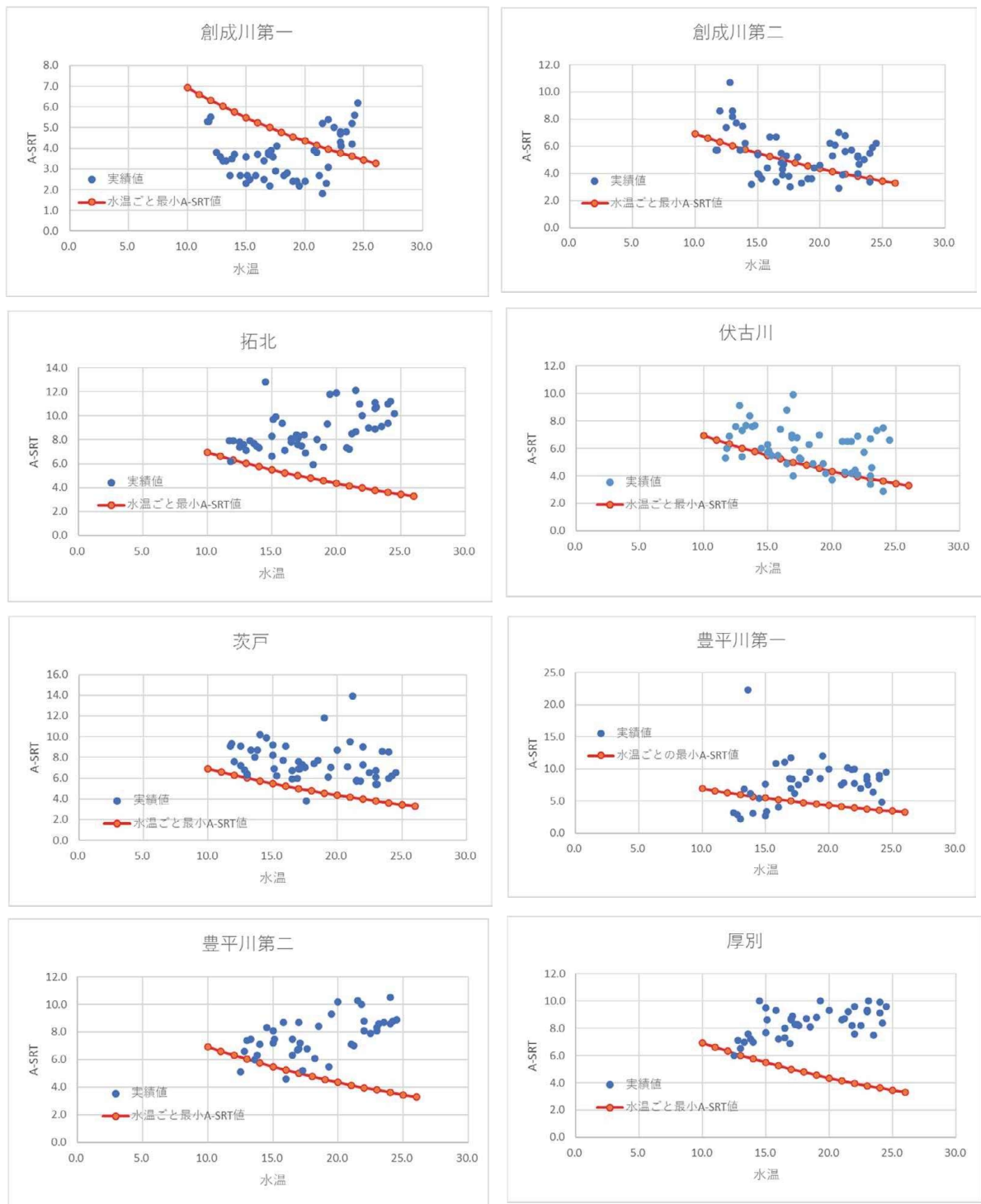


図-2 水温と A-SRT 実績値の相関その 1

※水温ごとの最小 A-SRT 値の理論式 : $A-SRT = 1.2 \times 9.20 \times \exp(-0.0466 \times T)$

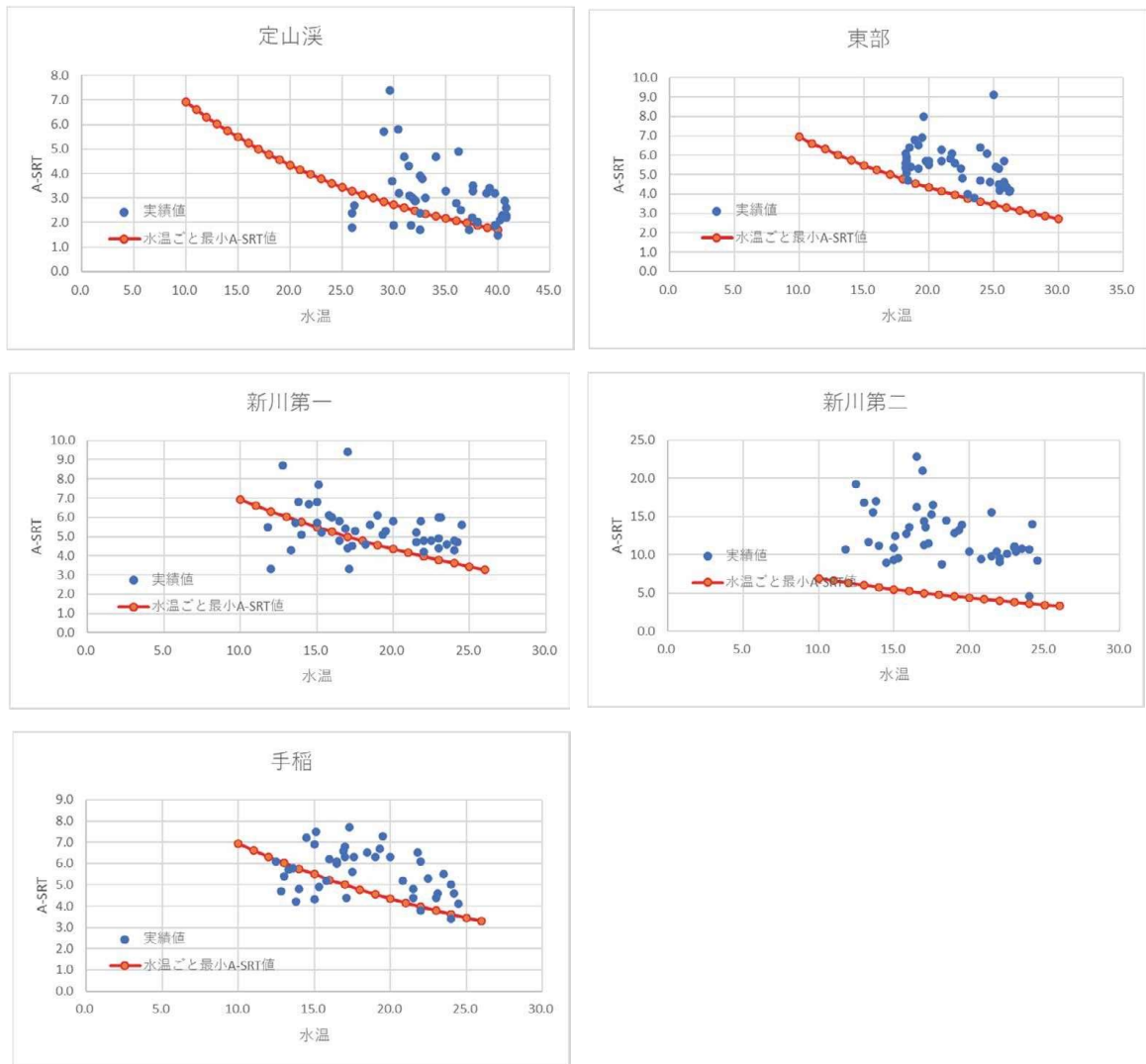


図-3 水温と A-SRT 実績値の相関その 2

※水温ごとの最小 A-SRT 値の理論式 : $A-SRT = 1.2 \times 9.20 \times \exp(-0.0466 \times T)$

同一水温、同一流入負荷のもとで A-SRT を長くすると、増殖した細菌や微生物は反応タンク内に保持され MLSS 濃度は高くなる。本調査では、A-SRT の増減率に対する MLSS 濃度の増減率の関係、つまり、A-SRT を小さくした場合に MLSS 濃度がどの程度小さくなるかを求め、最小 A-SRT に対応する最小 MLSS 濃度を予測することとした。

図-4 は A-SRT 管理が円滑に行われていた令和元年度の伏古川水再生プラザの A-SRT と MLSS 濃度の相関を表したものである。相関から得られた近似式を活用し、A-SRT=5.0 (日) を起点とし、A-SRT の増減率に対する MLSS 濃度の増減率を求めたものを図-5 に示す。

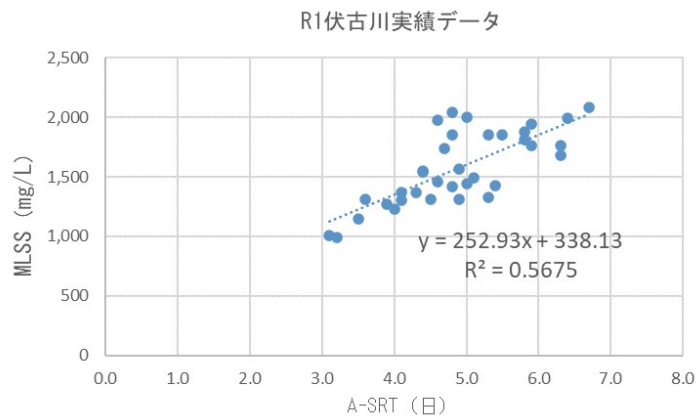


図-4 A-SRT と MLSS の相関

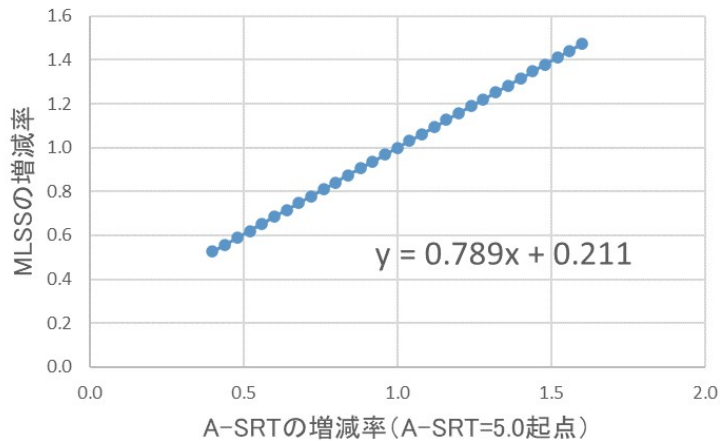


図-5 A-SRT 及び MLSS の増減率の相関

図-5 より A-SRT の変化に対する MLSS 濃度の変化の近似式が得られた。この近似式を用い、各水再生プラザにおける現状 A-SRT と最小 A-SRT の増減率から、最小 MLSS 濃度を算出したものを表-4 に示す。

なお、計算の結果最小 MLSS 濃度が現状より大きくなる場合は「-」表示 (削減効果なし) とした。

表-4 A-SRTより算出したMLSS

水再生 プラザ名	季節	A-SRT(日)		MLSS(mg/L)		水再生 プラザ名	季節	A-SRT(日)		MLSS(mg/L)	
		現状	最小	現状	最小			現状	最小		
創成川 第一	春	2.5	4.8	1,550	—	創成川 第二	春	3.6	4.5	1,390	—
	夏	4.7	3.7	1,830	1,523		夏	5.6	3.8	1,830	1,366
	秋	4.1	4.5	1,870	—		秋	6.2	4.3	2,120	1,607
	冬	3.5	5.5	1,570	—		冬	7.5	5.5	1,920	1,516
拓北	春	9.4	4.9	1,720	1,070	伏古川	春	4.9	5.0	1,680	—
	夏	7.6	3.5	1,420	816		夏	4.0	3.7	1,310	1,232
	秋	7.3	4.1	1,400	916		秋	6.5	4.0	1,700	1,184
	冬	7.1	4.8	1,570	1,169		冬	7.7	5.6	2,020	1,585
茨戸	春	6.2	5.6	2,210	2,041	豊平川 第一	春	9.5	4.3	2,510	1,426
	夏	5.7	4.1	2,070	1,612		夏	8.4	3.8	1,780	1,011
	秋	7.1	4.6	2,700	1,950		秋	7.8	4.2	2,160	1,373
	冬	8.0	5.8	2,880	2,255		冬	6.9	5.8	2,220	1,941
豊平川第 二	春	8.4	4.4	2,790	1,742	厚別	春	8.3	4.6	2,290	1,485
	夏	8.8	3.4	2,980	1,537		夏	9.6	3.7	2,320	1,195
	秋	7.0	4.4	2,360	1,668		秋	6.9	5.0	2,070	1,620
	冬	7.5	5.6	2,460	1,968		冬	7.2	5.7	2,110	1,763
定山溪	春	1.7	2.3	1,640	—	東部	春	3.8	3.7	1,340	1,312
	夏	2.9	1.6	1,810	1,170		夏	4.2	3.4	1,410	1,198
	秋	3.8	2.4	1,790	1,270		秋	5.7	3.6	1,456	1,033
	冬	3.0	2.8	1,250	1,184		冬	6.1	4.9	1,560	1,318
新川 第一	春	5.8	5.0	1,820	1,622	新川 第二	春	7.5	4.0	1,720	1,087
	夏	4.5	4.1	1,660	1,544		夏	9.0	3.8	1,650	898
	秋	5.2	4.0	1,860	1,521		秋	9.8	4.0	1,620	864
	冬	5.7	5.7	2,020	—		冬	9.0	5.8	1,830	1,317
手稲	春	5.6	4.6	1,610	1,383						
	夏	4.1	3.6	1,800	1,627						
	秋	6.8	5.1	2,030	1,630						
	冬	4.8	5.6	2,140	—						

次に、最小 MLSS 濃度で算出される必要空気量から送風量の削減率を算出した。(各プラザの最小 MLSS 濃度の必要空気量算出シートは参考資料に掲載)

表一5は各プラザの送風量の削減率をまとめたものである。

表一5 最小 A-SRT に対応した最小 MLSS 濃度で運転した場合の送風量の削減効果
(令和3年度稼働実績ベース)

水再生プラザ名	春 (4~6月)	夏 (7~9月)	秋 (10~12月)	冬 (1~3月)	年平均 削減率	削減可能 空気量(m ³ /分)
創成川第一	—	2%	—	—	1%	4
創成川第二	—	3%	4%	4%	3%	5
拓北	9%	9%	7%	6%	8%	1
伏古川	—	2%	6%	4%	3%	2
茨戸	1%	4%	6%	4%	4%	14
豊平川第一	12%	13%	12%	4%	10%	18
豊平川第二	16%	22%	11%	8%	14%	35
厚別	7%	10%	4%	4%	6%	31
定山溪	—	13%	14%	1%	7%	0
東部	1%	4%	7%	5%	4%	0
新川第一	2%	1%	2%	—	1%	5
新川第二	5%	9%	10%	6%	7%	4
手稲	4%	3%	6%	—	3%	40

以上より、硝化反応を維持できる最小 A-SRT の管理を行うことで MLSS 濃度が下がり、送風量を削減できる可能性があることがわかった。

現在、各施設では MLSS 濃度での管理を行っているが、MLSS 濃度は同じ A-SRT 値でも流入水の負荷変動によって変動する。例えば流入負荷が高い状態が続くと MLSS 濃度も高くなるが、MLSS 管理によって MLSS 濃度を下げようとする、硝化に必要な A-SRT が確保できなくなる可能性も生じることから、多少余裕を持った MLSS の濃度設定にならざるを得ない。したがって、硝化反応を確保しながら省エネ運転を行うには、A-SRT 管理を行うことが有効と考える。

また、過大な A-SRT は硝化菌以外にも糸状菌や放線菌などの細菌が増殖しやすくなり、最終沈殿池での沈降性の悪化など固液分離障害を引き起こすことにもつながることから、水温ごとの必要最小の A-SRT 管理を行うことは、省エネ効果のみならず水質の安定にも有効である。

なお、実運転においては、反応タンクの好気槽や処理水のアンモニア性窒素濃度をチェックしながら余剰汚泥量の増減を行い、計算で求められる A-SRT 値が最小となっているかどうかの判断を繰り返し行う。省エネを追求するには、こうした日常の水質管理も必要である。

c)MLDO と A-SRT の見直しによる送風量削減予測

a)MLDO を 1.5mg/L とした場合、及び b)A-SRT を最小とした場合の送風量の削減効果を合算した結果を表-6に示す。なお、削減効果がない(削減率がマイナス)場合は合算せず、削減効果がある数値のみ合算に使用した。

東部水再生プラザを除き、11~42%の送風量削減の可能性があった。

表-6 MLDO と A-SRT の送風量削減効果の合算(令和3年度稼働実績ベース)

水再生プラザ名	春(4~6月)	夏(7~9月)	秋(10~12月)	冬(1~3月)	年平均
創成川第一	41%	27%	28%	47%	36%
創成川第二	29%	38%	42%	43%	38%
拓北	32%	35%	33%	36%	34%
伏古川	31%	32%	35%	39%	34%
茨戸	7%	7%	10%	19%	11%
豊平川第一	20%	10%	12%	5%	12%
豊平川第二	22%	25%	24%	21%	23%
厚別	30%	18%	28%	25%	25%
定山溪	11%	15%	20%	11%	14%
東部	1%	4%	7%	8%	5%
新川第一	32%	50%	19%	21%	31%
新川第二	17%	17%	19%	28%	20%
手稲	47%	21%	49%	51%	42%

3.1.2 反応タンク送風量削減によるブロワ電力量の削減予測

3.1.1 で算出された反応タンク送風量の削減量がブロワ電力量の削減にどの程度つながるか予測を行った。

図-6～図-8の左側のグラフは、季節ごとの代表日における反応タンク送風量とブロワ電力量の相関を示したものである。相関から得られた近似式から、反応タンク送風量に対するブロワ電力量を試算することができる。この近似式を用い、反応タンク送風量を削減した場合のブロワ電力量の削減率を求めた。例えば、反応タンク風量が 10,000m³/時間に対するブロワ電力量を近似式から求め、次に送風量を 20%削減した場合、すなわち 8,000m³/時間に対するブロワ電力量も近似式から求め、その比から削減率を求める方法である。右側のグラフは、3.1.1 で予測した各プラザの反応タンク送風量の削減率を使い、反応タンク送風量に対する電力量の削減率をプロットしたものである。このグラフから、反応タンク送風量が減少すると電力量の削減率も減少していることがわかる。インレットベーンの場合、開度によって送風量を調整するが、開度が大きい時の方が省エネ効果が出やすいというブロワの特性が表れている。

なお、定山溪と東部の水再生プラザは送風量の削減率が小さいため、ブロワ電力量の削減予測から除外した。

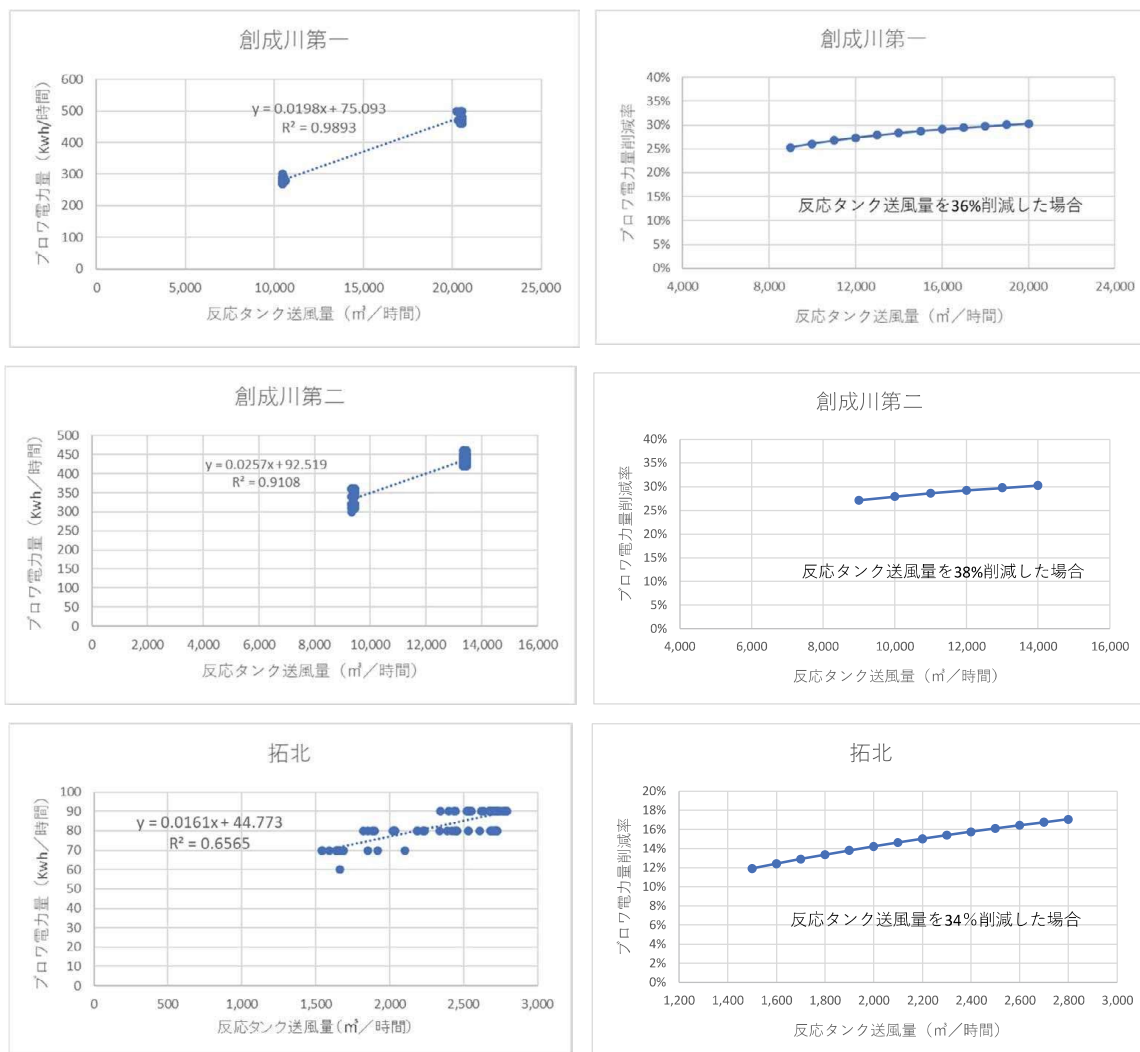


図-6 反応タンク送風量とブロワ電力量の相関その1

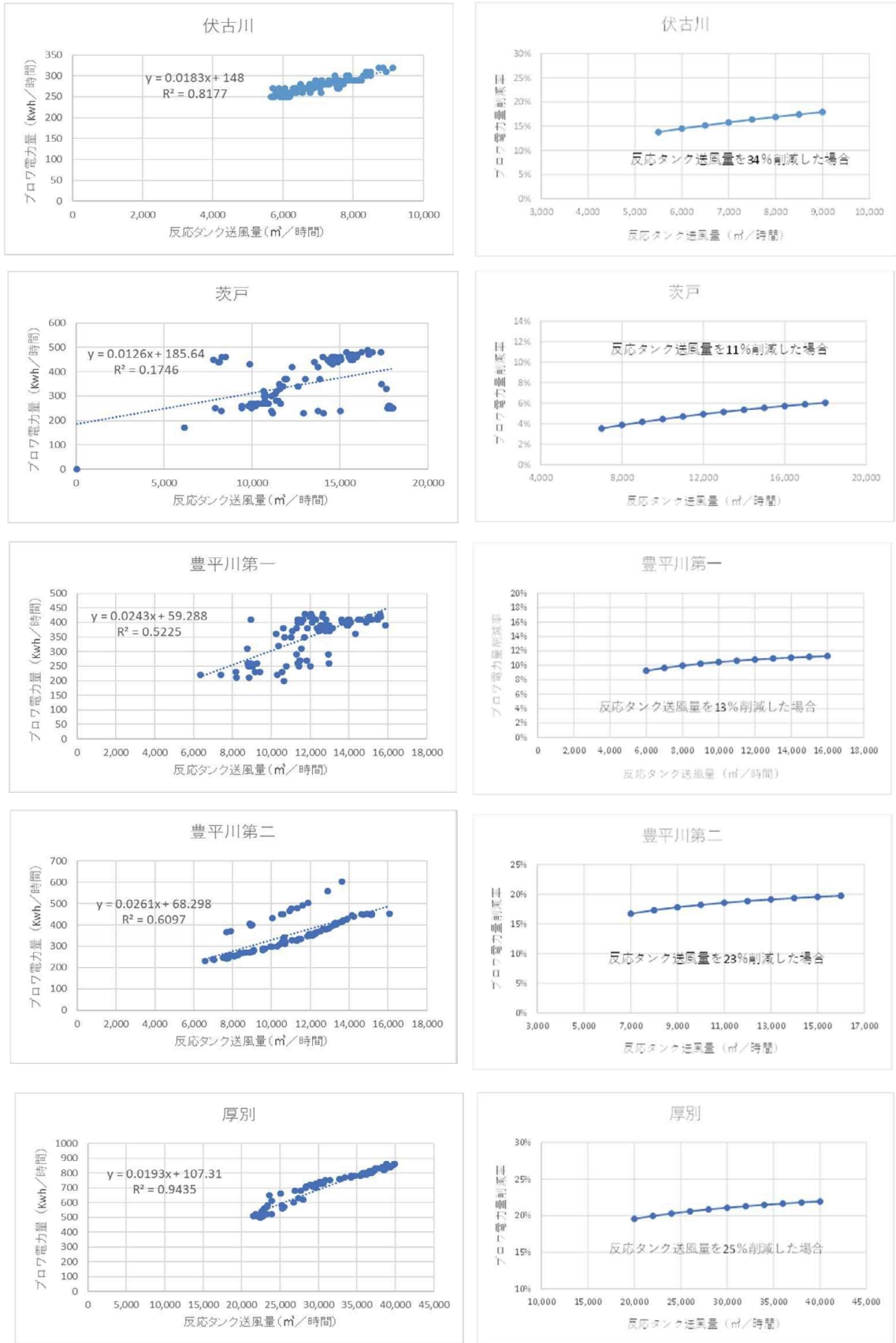


図-7 反応タンク送風量とブロウ電力量の相関その2

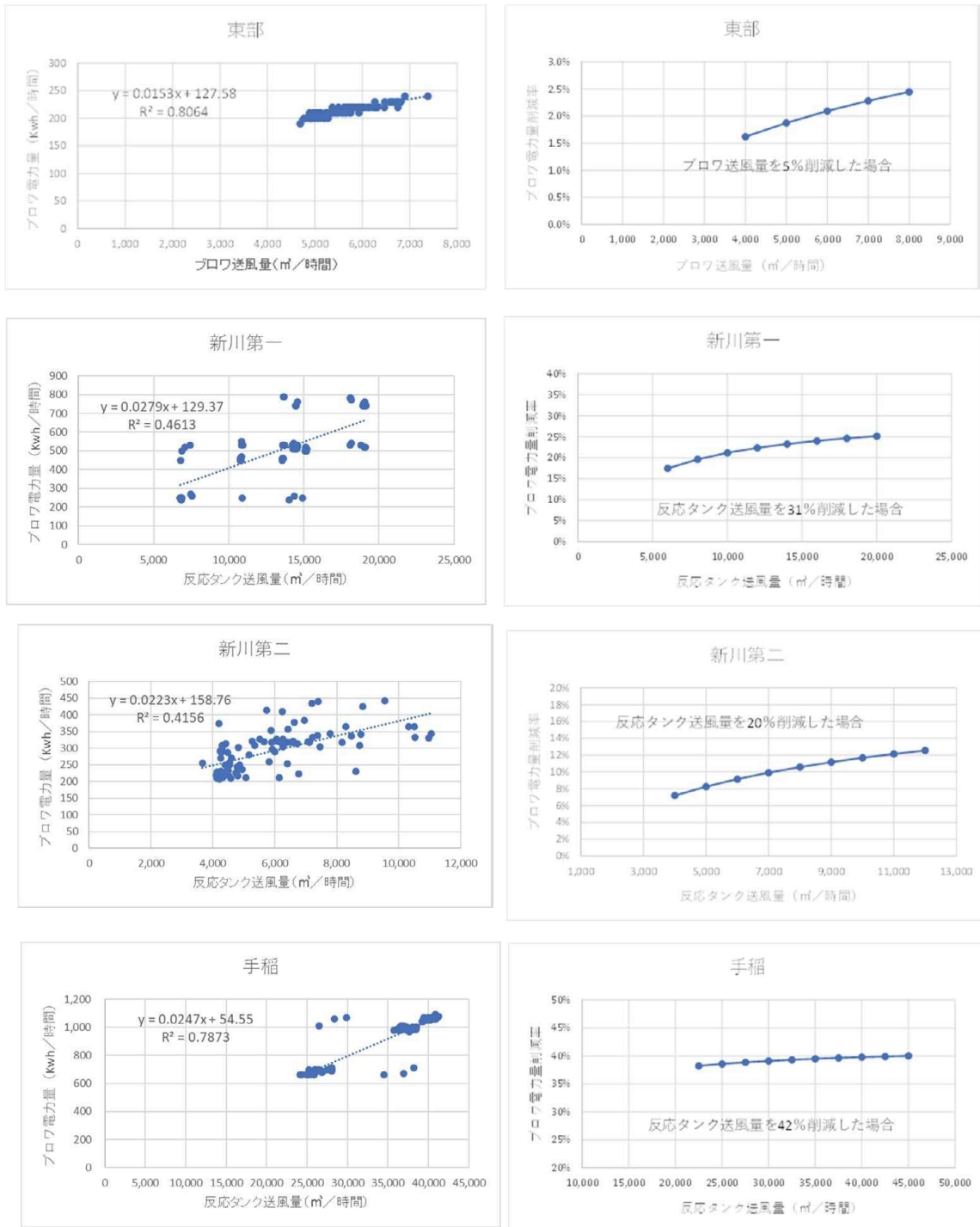


図-8 反応タンク送風量とプロワ電力の相関その3

これらの結果を用い、令和3年度のブロワ電力量の削減可能性を表一七のとおり算出した。

表一七 削減可能なブロワ電力量

水再生プラザ名	反応タンク送風量の削減率 (年平均)	ブロワ電力量の削減率	削減可能なブロワ電力量 (削減率の中央値で計算) (kWh/年)	(参考) R3 ブロワ電力量 (kWh/年)
創成川第一	36%	26~30%	1,011,870	3,613,820
創成川第二	38%	27~30%	928,239	3,315,140
拓北	34%	12~17%	107,820	718,800
伏古川	34%	14~18%	383,182	2,394,890
茨戸	11%	4~6%	163,880	3,277,600
豊平川第一	12%	9~11%	245,932	2,732,580
豊平川第二	23%	17~20%	522,606	2,750,558
厚別	25%	20~22%	1,274,650	6,069,760
定山溪	14%	—	—	123,283
東部	5%	1.6~2.4%	38,158	1,907,910
新川第一	31%	17~24%	896,887	4,270,890
新川第二	20%	7~13%	245,322	2,453,224
手稲	42%	39~40%	3,163,320	7,908,300
合計 (削減率)			9,042,344 (22%)	41,536,755

表一七に示すとおり全施設トータルで削減可能な電力量は約9,042千kWh/年となり、これは全ブロワ電力量の22%に相当する。動力費の削減のみならず、温室効果ガスの排出削減にもつながる結果となった。

なお、この削減量はあくまで計算上の値であり、実際にはDO制御の有無や、DO制御が可能であってもブロワ動作との連携に問題があるといった制約や課題があるほか、手動によるブロワ操作や現場での風量調整など、相応の対応が必要となる場合もあり、送風量の削減には設備の改善や、運転に係る関係者の協力が不可欠である。

また、表一八のとおり電力削減量をCO₂換算し、気候変動対策の目標との比較を行った。

本市下水道河川局では、2022年度から2030年度までに48,000 t/年のCO₂削減を目標値として想定しており、各プラザの省エネの取組により目標の10%程度を賄うことができる試算結果となった。

表一八 CO₂排出量の削減予測と気候変動対策の削減目標

削減可能な ブロワ電力量	CO ₂ 排出係数※ (北海道電力)	削減可能なCO ₂ 排出量	2030年までの 削減目標
9,042,344kWh/年	0.535 (kg-CO ₂ /kWh)	4,838 t-CO ₂ /年	48,000 t-CO ₂ /年

※2022年度確報値

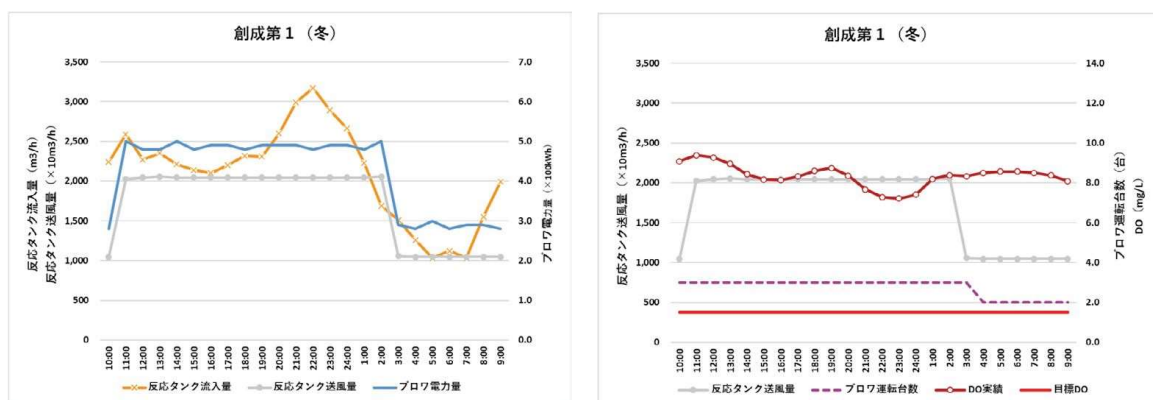
3.1.3 時間変動データによる省エネの評価と考察

前項の必要空気量の算出は日単位で行い、送風量の削減予測も日単位となっている。しかし、水再生プラザでは時間ごとに流入水の負荷が変動し、負荷に対応したブロワの運転を行っている。

そこで、各水再生プラザの代表日における時間ごとの各種データから、以下のとおり省エネの評価及び省エネ運転方法の考察を行った。

- ・春、夏、秋、冬のうち、送風量の削減が最も期待できる区分を選定し、評価と考察を行った。
- ・目標 MLDO を 1.5mg/L とし、時間ごと目標 MLDO と実際の MLDO の差を確認した。
- ・実 MLDO が目標 MLDO に対して過大となっている時間帯の送風量の削減方法を考察した。
- ・各水再生プラザの施設特性に合った省エネ運転方法（制御方法）の提言を行った。

① 創成川第一

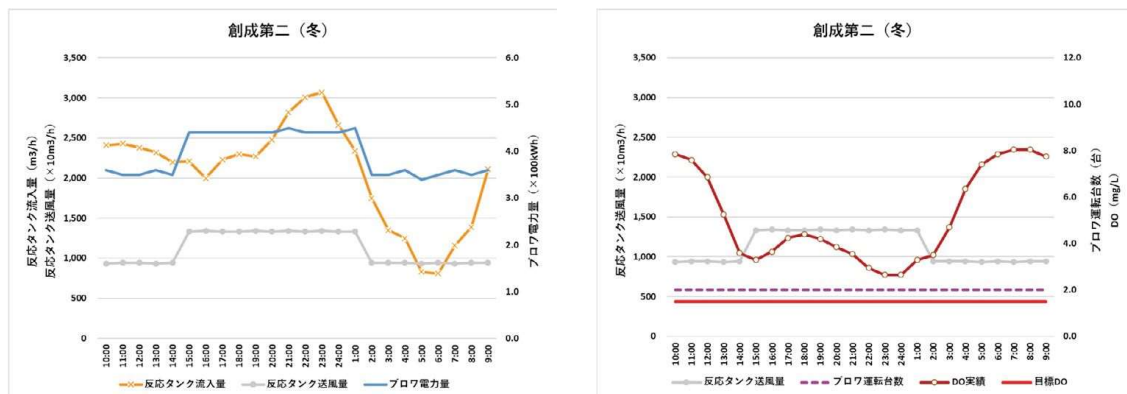


創成川第一施設では DO 制御ができないため、反応タンクの流入負荷に合わせて風量パターン制御を行っている（左図参照）。

しかし、右図のとおり各時間帯の実 MLDO が 7～9mg/L と高く、送風量が過大傾向となっている。

表-6 に示すとおり、MLDO を 1.5mg/L とした場合、冬における削減可能風量は 47% と予測された。水質の維持を前提として、インレットバーンの開度を絞り設定風量を下げるほか、現在の 2～3 台運転から 1～2 台運転の可能性についても検討が必要である。

②創成川第二

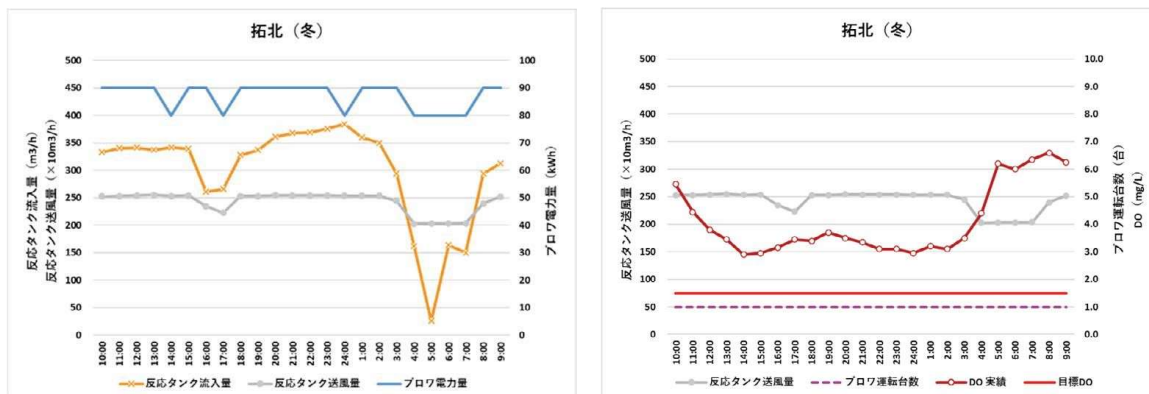


創成川第二施設についても、反応タンクの流入負荷に合わせて風量パターン制御を行っている（左図及び右図参照）。

右図のとおり、流入負荷が小さい夜中から午前中の時間帯で実MLDOが高く、特にこの時間帯の送風量が過大傾向となっている。また、表一六に示すとおり、冬における送風量の削減予測は45%である。

第一施設同様に水質の維持を前提として、MLDOの余裕度に合わせてインレットバンの開度調整による風量削減の検討が必要である。また、第二施設はDO制御が可能となっていることから、DO=1.5mg/LとするDO制御についても検討が必要と考える。更に、設定風量が禁止域に入った時にブロワの発停が繰り返される制御上の課題があり、その解決に向けての検討も必要である。

③拓北



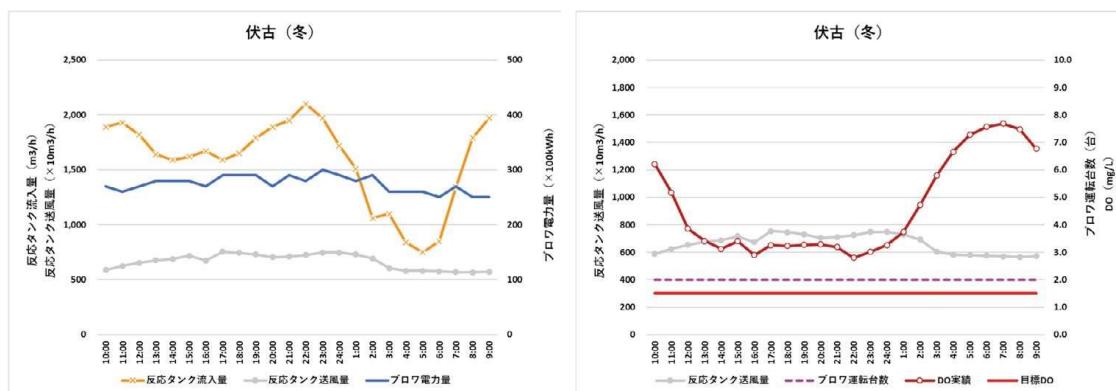
拓北では DO 制御が可能であるが、ブロワが2台運転になるとデマンドが超過する等の課題があり、流入負荷に合わせた風量パターン制御を行っている。風量の変動幅は小さく、ほぼ一定風量で運転を行っている（左図参照）。

実 MLDO はどの時間帯も 1.5mg/L を上回っており、特に流入負荷が小さくなる明け方に過大となる傾向にある。

3台のブロワのうち、インレットベーン No.1ブロワの1台運転が基本となっており、電力量削減が期待できる。冬における送風量の削減予測は30%であり、MLDOの余裕度に合わせて、インレットベーンの開度調整による風量削減の検討が必要である。

また、DO制御の可能性についても検討が必要である。

④伏古川



伏古川ではDO制御を行っているが、右図のとおり実MLDOはどの時間帯も1.5mg/Lより高く、特に夜中から午前中の送風量は過大となっている。

冬における送風量の削減予測は35%であり、DO制御の設定を1.5mg/Lとし、さらに1台運転の可能性について検討が必要である。

なお、伏古川は令和5年6月から送風量の削減に取り組んでおり、令和3年11月と令和5年11月の反応タンク送風量とブロウ電力量の実績値は表-9のとおりである。

表-9 令和3年と現在の反応タンク送風量とブロウ電力量の比較

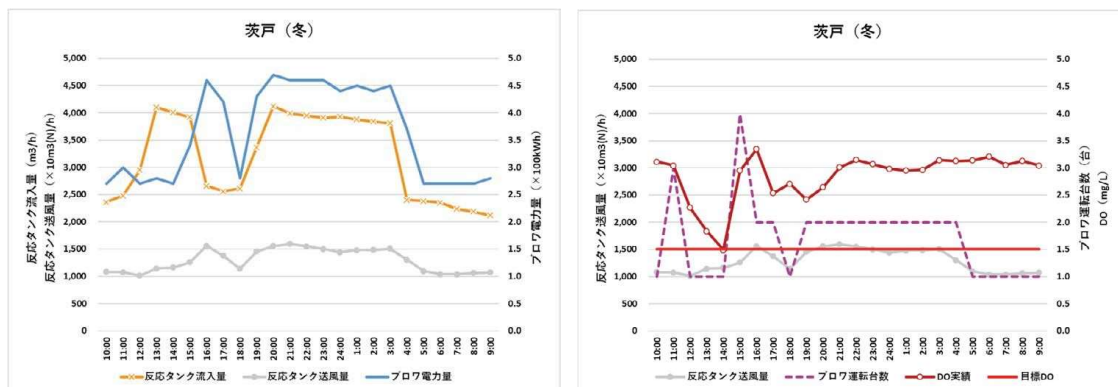
項目	反応タンク送風量	ブロウ電力量
令和3年11月	168,220m³/日	197,900 kWh/月
令和5年11月	125,586m³/日	146,660 kWh/月
削減率	25%	26%
(本調査の削減予測)	(29%)	(13~18%)

伏古川では、DO制御が一定程度機能するよう、反応タンクの系列間の風量調整や流入量値の補正、DO制御時のブロウの不安定動作への対応などを行っている。

こうした調整の結果、令和3年度と比較して反応タンク送風量が25%、ブロウ電力量が26%の削減となっている。送風量については、本調査の削減予測を若干下回ったものの、電力量は予想を大きく上回る実績となった。

伏古川については風量調整弁の口径が200mmと大きく、設定下限の10%としても送風量は絞り切れず現在でも時間帯によってMLDOが5~6mg/Lに達する。したがって、更なる送風量の削減に向けては、設備やシーケンス制御の制約などへの対応が必要である。伏古川の取組は他のプラザの参考にもなることから、これらの課題に対する積極的な対応を期待したい。

⑤茨戸



茨戸ではDO制御を行っているが、右図のとおり実MLDOは13～14時を除いて3mg/L前後で推移している。冬における送風量の削減効果は27%と予測されており、DO=1.5mg/Lで制御を行うことで、一定の電力量の削減が期待できる。

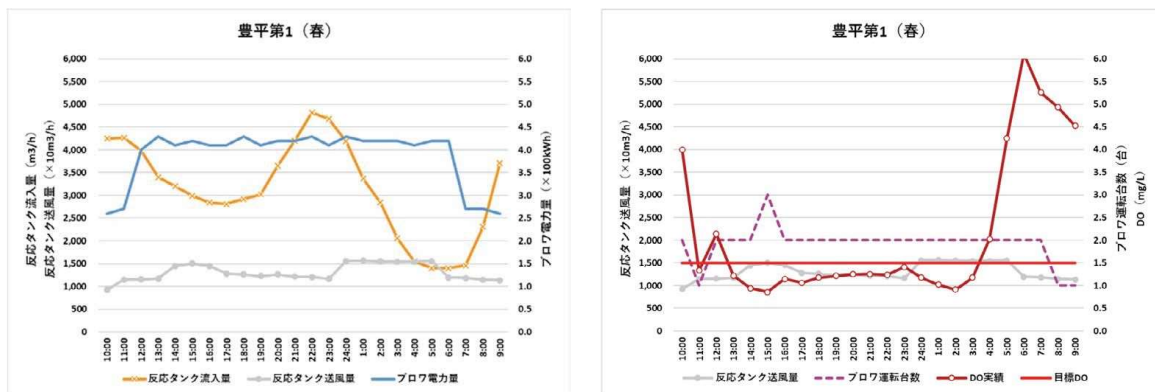
また、5台のブロワのうち、3台が吸い込み弁、2台がインレットベーンとなっている。右図をみると、1台と2台運転の時間が長いことから、より電力量の削減につながるインレットベーンの優先利用が有効と考える。

なお、茨戸では数年間続いた機器の更新工事が終了し、令和5年8月から5系列でのステップ流入式硝化運転を開始している。これにより円滑なDO制御が可能となり、令和3年度と現在の反応タンク送風量とブロワ電力量を比較すると、表-10のとおり送風量で24%、電力量で11%の削減となり、いずれも本調査の削減予測を上回った。

表-10 令和3年と現在の反応タンク送風量とブロワ電力量の比較

項目	反応タンク送風量	ブロワ電力量
令和3年度 9月～1月の平均	308,740m ³ /日	277,214 kWh/月
令和5年度 9月～1月の平均	235,608m ³ /日	245,808 kWh/月
削減率 (本調査の削減予測)	24% (17%)	11% (5～9%)

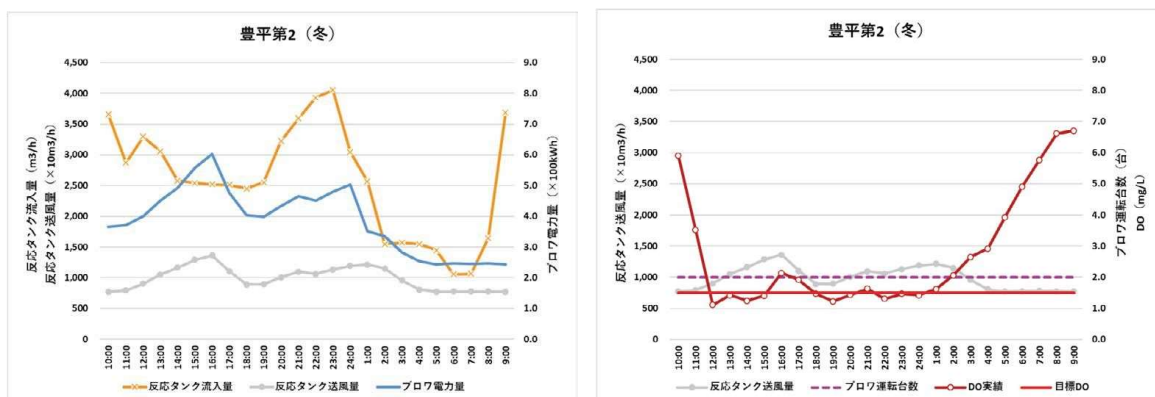
⑥豊平川第一



豊平川第一施設はDO制御を行っており、DO=1.9mg/Lが設定値となっている。右図のとおり午前2時から10時まで実MLDOが設定を大きく上回っているが、その他の時間帯のMLDOは1.5mg/Lを下回っており、MLDOに係る送風量の削減は一定確保できている。送風量が過大となる原因を分析し、対策を講じることができれば、より送風量の削減につながる。

なお、第一施設はA-SRT値が必要最小値より高いことから、MLSS濃度を小さくすることが可能である。適正なA-SRT管理により送風量の更なる削減が期待できる。

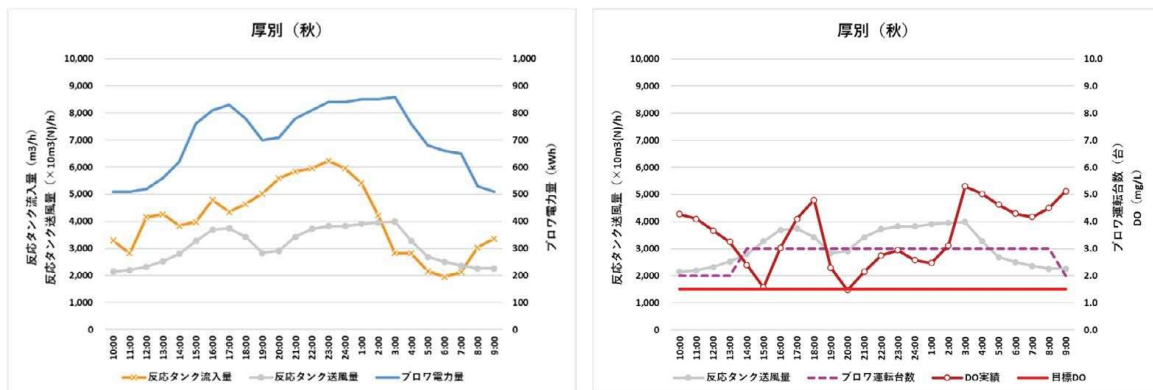
⑦豊平川第二



第二施設も第一施設同様DO制御を行っているが、2.2mg/Lが設定値であり、第一施設より若干高い設定となっている。右図のとおり第一施設同様午前2時から10時まで実MLDOが設定を大きく上回っているが、その他の時間帯のMLDOは1.5mg/L前後で推移している。

第一施設同様、送風量が過大となる原因を分析し、更なる送風量削減の可能性について検討が必要である。また、適正なA-SRT管理によりMLSS濃度の低減が可能であり、更なる風量削減も期待できる。

⑧厚別

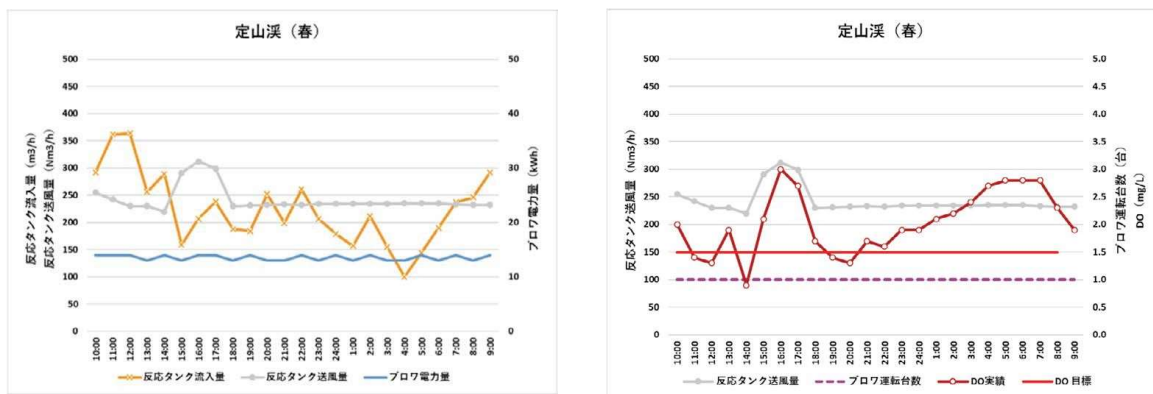


厚別ではDO制御を行っているが、右図のとおり実MLDO値は1.5mg/L以上であり、5mg/L前後まで上がる時間帯も見られる。MLDO値の動きをみると、流入負荷が上がるとMLDO値が下がるとブロワの運転台数を増やし、結果MLDO値が上昇するとブロワの送風量を抑える動きが繰り返されているが、流入負荷が小さくなる深夜から明け方の時間帯はブロワの送風量が抑制されているにもかかわらず、MLDO値が上昇していることがわかる。

MLDOの設定値を1.5mg/Lとした場合の効果や課題、設備の制約等について整理を行うなど、送風量削減の可能性について検討が必要である。

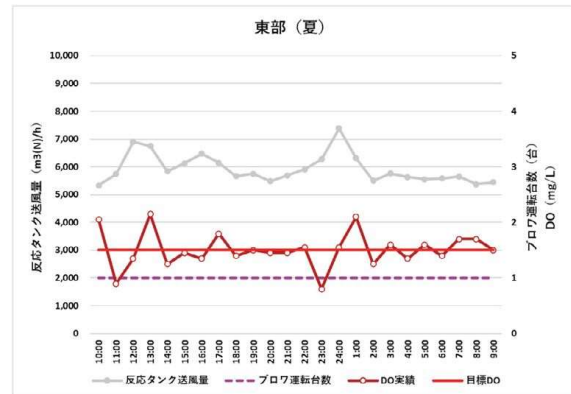
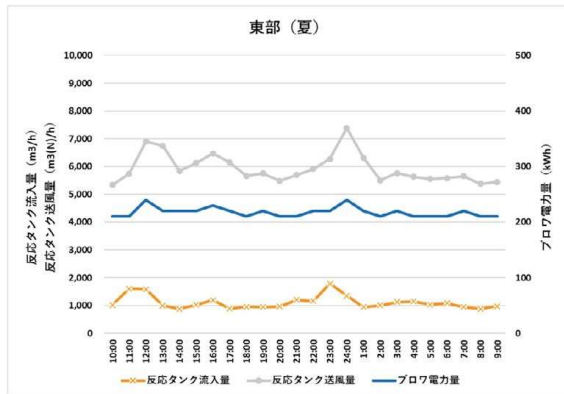
また、MLSS濃度も高めとなっていることから、A-SRT管理によりMLSS濃度の低減を図ることで、更なる送風量の削減が見込まれる。

⑨定山溪



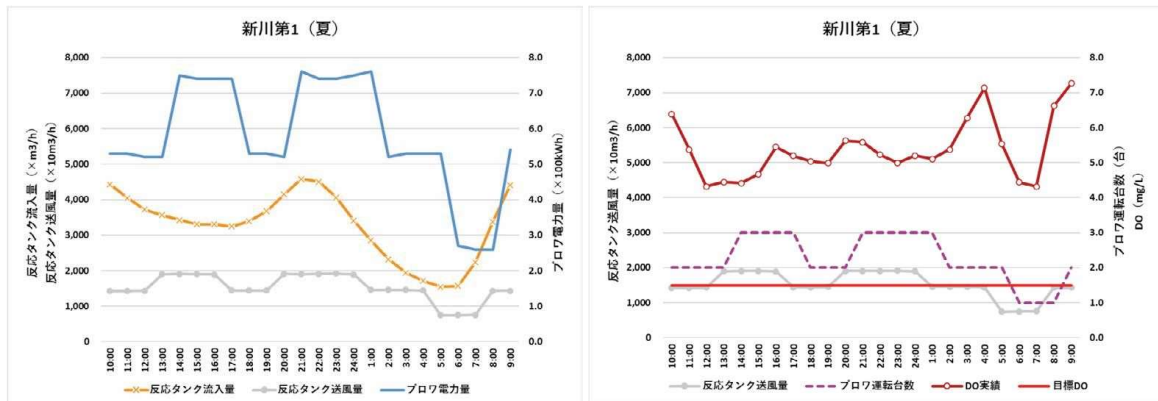
定山溪はDO制御を行っており、MLDO値は一日の間で何度か変動している。深夜から翌朝にかけては、送風量が一定でMLDOは高く推移している。この間のDO制御のブロワの挙動について確認を行い、風量削減の可能性について検討が必要である。

⑩ 東部



東部は安定した MLD0 値を示しており、目標である 1.5mg/L の前後で推移し、水質も安定している。東部は全施設の中で最も新しい施設であり、円滑な風量制御が可能となっていることから、他施設における対応策や改善策の参考になると考えられる。

⑪新川第一

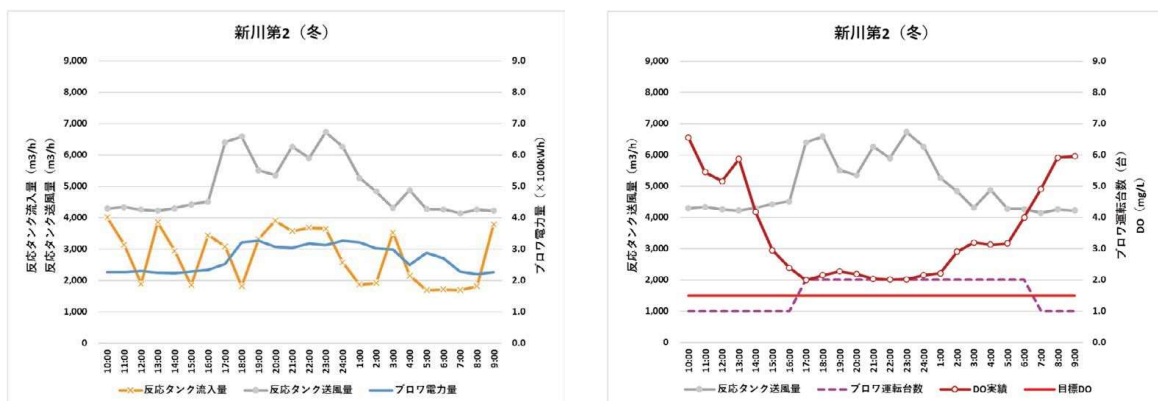


新川第一施設は、風量パターン制御を行っているが、右図のとおり実 MLDO 値は高い値で推移している。

MLDO 値を 1.5mg/L とした場合、夏では 51%の送风量削減が見込まれることから、設定风量の見直し、ブロワの運転台数を減らすなどの対応が考えられる。

また、DO 制御はブロワの挙動が不安定になるため採用していない。この点についても機械、電気メーカーに確認を行うなど、取りうる対応策の検討が必要である。

⑫新川第二

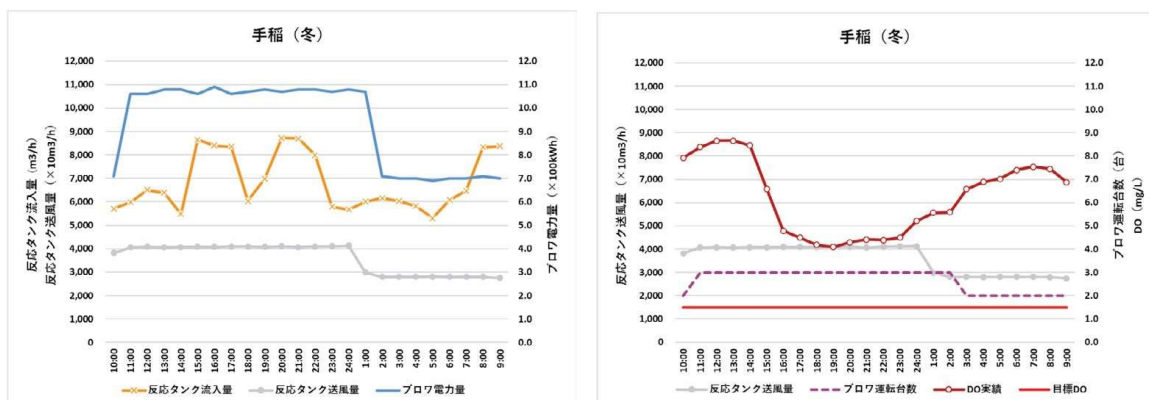


第二施設は DO 制御を行っている。夕方から夜中の時間帯は 2 台運転で実 MLDO 値は 2 mg/L 程度で落ち着いているが、その他の時間帯で MLDO 値の上昇に伴い 1 台運転となっても MLDO は下がらず、むしろ高くなる傾向にある。

また、1 台運転時のブロワの风量削減について、設備の制約や不具合の有無も含めて検討が必要である。

第二施設には省エネ効果が発揮できるインバータ式のブロワが導入されている。効果的な活用方法について検討が必要である。

⑬手稲



手稲はDO制御が可能であるが、ブロワ台数の切り替えがスムーズにできないことや、散気装置の混在により適正な風量配分ができないこと、更に、水量変動に対応できないといった理由によりDO制御は行わず、風量パターン制御を行っている。

実MLDO値は常に高い値で推移し、特に明け方からお昼ごろまでは7mg/Lを超えている。MLDOを1.5mg/Lとした場合、冬における送風量の削減率は51%であり、現状の風量パターン制御におけるブロワ台数の見直しや、風量削減の可能性について検討が必要である。

一方で、5台のブロワのうち、インレットベンが2台、風量調整弁が3台となっており、電力量の削減効果は限定的である。

以上のとおり、DO制御は様々な制約により実施していないが、機械、電気のプラントメーカーに相談するなど、改善に向けた検討もすべきと考える。

3.2 設備更新を見据えた省エネルギー化の検討

現有設備における省エネルギー化の検討の際には以下の課題があげられた。

- ・必要空気量に対してブロワ容量が過大である
- ・DO 制御が設備的にできないプラザがある
- ・DO の指示信号に対してブロワの制御が追い付かずにハンチングを起こす
- ・風量調整弁の口径が大き過ぎるため、設定下限値としても送風量が過大となる

水再生プラザの新設時には将来的な流入負荷の増加を考慮し、必要空気量の設定やブロワ設備の能力に余裕を持たせることは一般的なことと考えるが、現有設備の更新時には、今後の人口減少等も鑑み、必要空気量や設備の能力が過大とならないよう留意する必要がある。

具体的には、散気装置の更新に合わせて必要送気量を見直し、大容量と小容量のブロワの組み合わせ、インバータ制御の導入等、エネルギー効率の高いブロワの組み合わせを検討する必要があると考えられる。

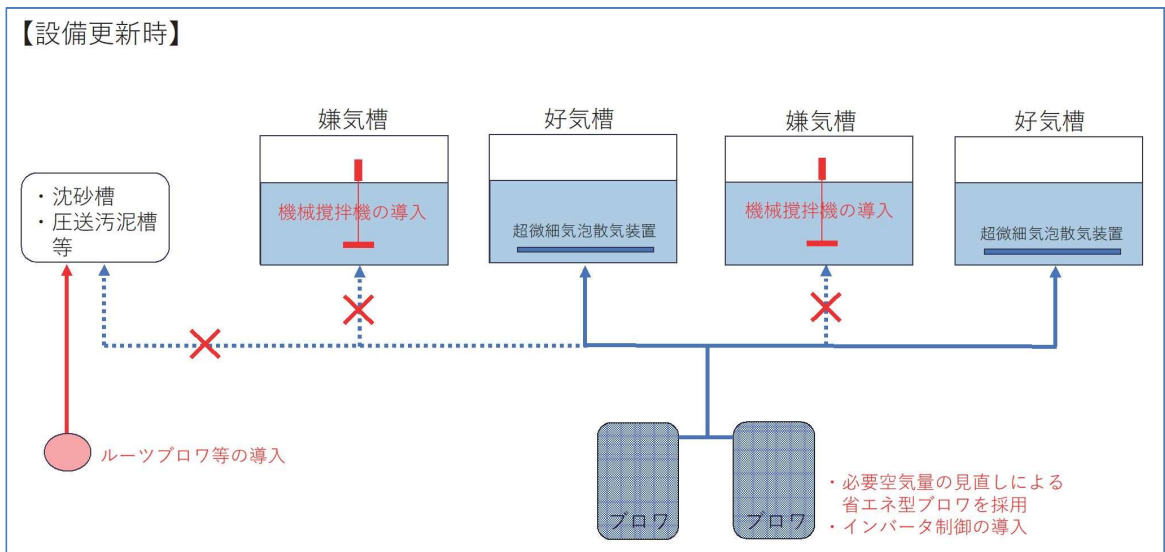
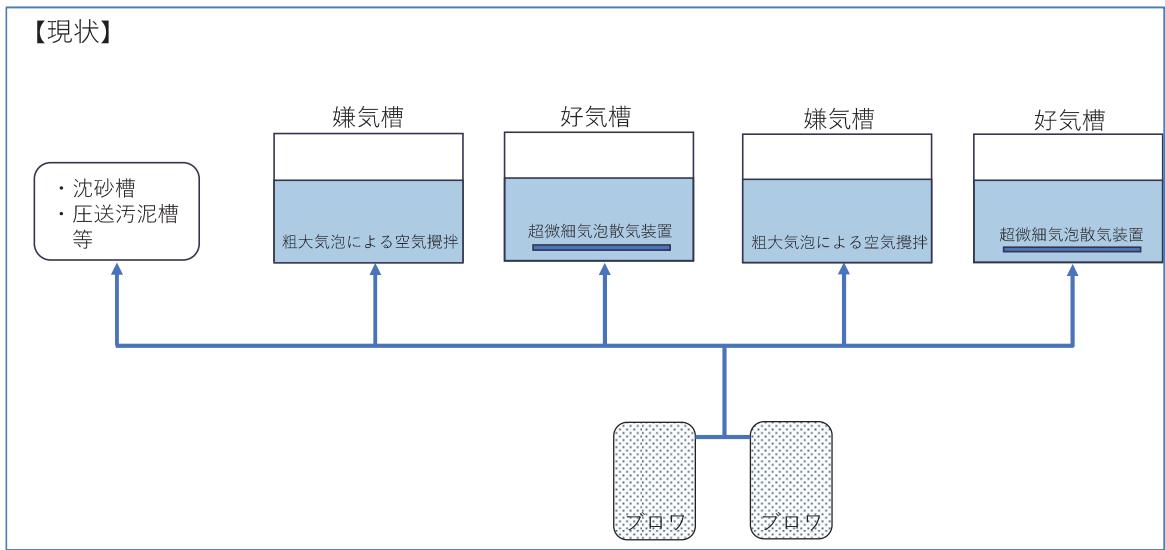
本調査では、設備更新時のブロワについて、送風量削減及び消費電力量の削減を考慮し表-11 及び図-9 に示すとおりとし、現状ブロワで対応している反応タンク（好気槽）以外の空気についてはルーツブロワ（小型ブロワ）等の別途設備による対応とした。

また、設備更新を見据えた省エネルギー化について図-10 に示すフローに基づき検討を行った。

表-11 現状及び設備更新時におけるブロワの比較

項目	現状	設備更新時
MLDO	R3 稼働実績：1.6~4.9mg/L	1.5mg/L
MLSS	A-SRT 管理：なし	必要最小の A-SRT を考慮
散気装置	メンブレンフィルターor 散気版	全てメンブレンフィルター
嫌気槽の攪拌	散気板による粗大気泡	機械攪拌機の導入
その他風量*	ブロワによる送風	ルーツブロワ等による送風
風量調整	主にインレットベーンによる制御	インバータ制御

※沈砂池や返送汚泥槽等の腐敗防止を目的としたもの



図－9 現状及び設備更新時のブロウの比較

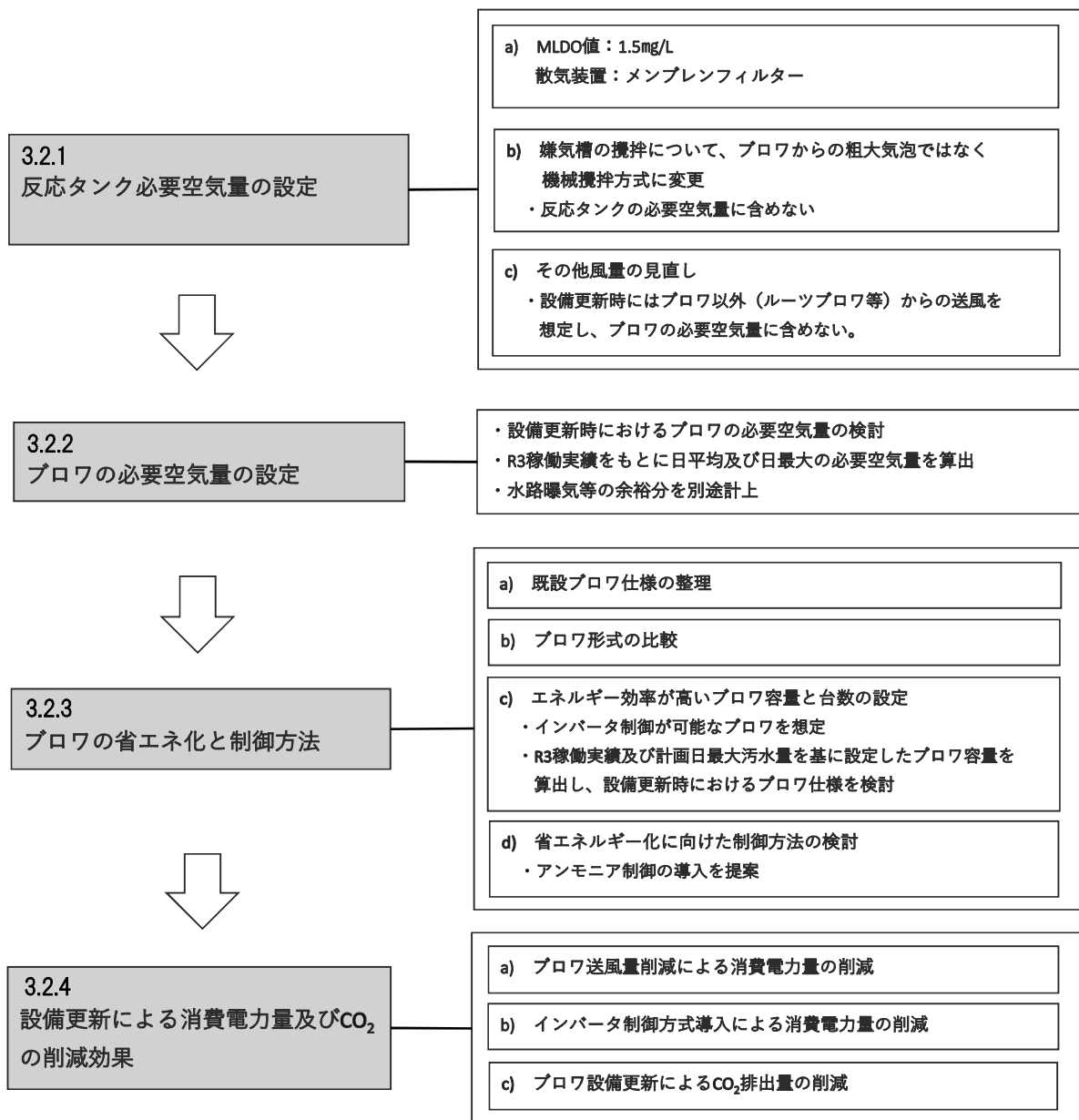


図-10 設備更新を見据えた省エネルギー化の検討フロー

3.2.1 反応タンク必要空気量の設定

a)MLDO 値と散気装置について

「3.1 現有設備における省エネルギー性能の評価と考察」では、MLDO 値を 1.5mg/L として必要空気量の見直しを行ったが、設備更新においても同様に MLDO 値は 1.5mg/L と設定し、反応タンクの必要空気量を算出することとする。

また、散気装置については、酸素移動効率が高い「メンブレン式超微細気泡散気装置」が導入されていることを標準とする。

以上の見直しを「必要空気量算出シート」へ反映させ、各水再生プラザにおける季節ごとの必要空気量を算出したものを表-12 に示す。

なお、ここでの必要空気量は設備更新を前提としたものであることを考慮し、「3.1 現有設備における省エネルギー性能の評価と考察」において各種データから算出された必要空気量と実送風量が一致するように設定した調整係数は考慮しない値とした。

表-12 各水再生プラザにおける必要空気量（令和3年度稼働実績ベース）

単位：(m³/分)

水再生プラザ名	春	夏	秋	冬	平均	補正係数	日平均 ^{※1}	日最大 ^{※2}
創成川第一	79	107	115	111	103	0.99	102	128
創成川第二	87	86	90	94	89	0.97	86	108
拓北	20	19	19	19	19	0.94	18	23
伏古川	99	79	89	109	94	0.99	93	116
茨戸	175	144	159	187	166	0.98	162	203
豊平川第一	158	142	159	186	161	0.99	160	200
豊平川第二	140	151	157	151	150	0.99	148	185
厚別	260	251	248	215	244	0.99	242	303
定山溪	2	3	5	3	3	0.79	3	4
東部	54	61	61	70	62	1.04	64	80
新川第一	155	145	140	139	145	1.08	156	195
新川第二	159	118	107	112	124	1.06	131	164
手稲	394	461	352	277	371	0.96	358	448

※1 日平均については、春夏秋冬の代表日の流入水量の平均が年間の反応タンク流入水量（晴天時）の日平均値となる補正係数を乗じることによる補正を行った。

※2 日最大については創成川水再生プラザで採用している変動比（日最大/日平均=1.25）を日平均に乗じたものを採用した。

その他、現有設備の検討の際には MLSS 濃度も必要空気量の見直し項目としていたが、急激な水温低下時の対応や、流入負荷が大きく変動した場合には MLSS 濃度が高くなるなど、実際の運転では MLSS 濃度に変動が生じることから、ここでは含めないこととした。

b)嫌気槽における機械攪拌機の導入について

本市ではおおよその水再生プラザで窒素除去のために反応槽に脱窒部（嫌気槽）を設けているが、嫌気槽では散気板や多孔管の粗大気泡による攪拌を行っている（拓北と東部以外）。

現在、従来の水中攪拌機に対し、攪拌動力密度が大幅に小さい省エネ型反応タンク攪拌機が開発されているほか、攪拌に加えて曝気を可能とする装置もあり、状況に応じた運転方式の変更（ステップ流入式硝化脱窒法⇔高返送式硝化脱窒法など）が可能となっている。

したがって、反応タンク設備の更新時に嫌気槽に省エネ型反応タンク攪拌機を導入することで必要空気量が削減できるとともに、機械攪拌による安定した嫌気槽の確保が可能となる。

このため、ブロワ設備の更新時には「嫌気槽への送風量」は必要空気量に見込まないものとする。

c)その他風量の見直し

水再生プラザでは、沈砂池や返送汚泥槽や圧送汚泥槽等へ沈降防止や腐敗防止を目的としてブロワから送風を行っており、水再生プラザによってはその割合が大きい。これらの送風量については省エネの観点からブロワからではなくルーツブロワ等の消費電力の小さいもので代替することが望ましい。

したがって、b)と同様にブロワ設備の更新時には「その他送風」は必要空気量に見込まないものとする。

3.2.2 ブロワの必要空気量の設定

ブロワの必要空気量は、反応タンクにおける必要空気量（設計指針で示される各パラメータの最小値を採用）をベースとして、設計指針に基づき負荷変動等を考慮した10～20%程度の余裕分（ここでは15%）を加味して算出することとした。

反応タンクでは、MLD0=1.5mg/Lとメンブレンフィルターの標準装備を設定条件とし、この条件における日平均、日最大のブロワ必要空気量を求めると表-13のとおりとなる。

表-13 設備更新時における必要空気量（令和3年度稼働実績ベース）

単位：m³/分

水再生プラザ名	日平均 必要空気量 ①	日最大 必要空気量 ② = ①×1.25	負荷変動等 余裕分 ③ = ②×0.15	計 ④ = ②+③
創成川第一	102	128	19	147
創成川第二	86	108	16	124
拓北	18	23	3	26
伏古川	93	116	17	133
茨戸	162	203	30	233
豊平川第一	160	200	30	230
豊平川第二	148	185	28	213
厚別	242	303	45	348
定山溪	3	4	1	5
東部	64	80	12	92
新川第一	156	195	29	224
新川第二	131	164	25	189
手稲	358	448	67	515

3.2.3 ブロワの省エネ化と制御方法

a) 既設ブロワ仕様の整理

既設ブロワの仕様を表-14～表-16に示す。なお、本仕様は各ブロワの試験成績表より整理している。

水再生プラザごとに設置台数が異なり、以下のとおり形式の異なるブロワが採用されている。

- ・創成第2 … 単段増速
- ・豊平第2、新川第2 … 磁気浮上
- ・定山溪 … ルーツ
- ・上記以外 … 多段ターボ

なお、新川第1について、令和3年度時点では定格風量は10,800 m³/hとされており、試験成績表の値と異なる。

表-14 既設ブロワ仕様（創成川水処理センター）

処理場名	No.	形式	定格仕様				稼働開始年月日		
			風量 (m ³ /min)	風量 (m ³ /h)	吐出圧力 (mmAq)	所要動力 (kW)			
創成川 水処理 センター	創成第1	1	多段ターボ	110	6,600	6,300	180	1988.4.1	
		2						1988.4.1	
		3						1992.4.1	
		4						2004.4.1	
	創成第2	1	単段増速	124	7,440	5,500	220	1982.4.1	
		2						1981.4.1	
		3						1981.4.1	
	拓北	1	多段ターボ	50	3,000	5,500	90	1997.4.1	
		2						1984.4.1	
		3						1984.4.1	
	伏古川	1	多段ターボ	110	6,600	6,000	170	1988.3.1	
		2						1988.2.1	
		3				5,500		1992.3.1	
		4						2010.3.31	
	茨戸	1	多段ターボ	160	9,600	5,800	280	1977.8.1	
		2						1977.8.1	
		3						1981.4.1	
		4						240	1994.4.1
		5							1994.4.1

表-15 既設ブロワ仕様（豊平川水処理センター）

処理場名	No.	形式	定格仕様				稼働開始年月日	
			風量 (m3/min)	風量 (m3/h)	吐出圧力 (mmAq)	所要動力 (kW)		
豊平川 水処理 センター	豊平第1	1	多段ターボ	165	9,900	5,500	270	1992.3.1
		2						1993.3.1
		3						1995.3.1
		4						2009.4.1
	豊平第2	1	磁気浮上	140	8,400	6,500	194	2013.4.1
		2						2012.3.16
		3						2010.3.12
		4						2010.3.12
	厚別	1	多段ターボ	180	10,800	5,540	270	2004.4.1
		2						2004.4.1
		3						2004.4.1
		4				2004.4.1		
		5				5,650		1990.4.1
	定山溪	1	ルーツ	28	1,680	48	45	2013.4.1
		2						2013.4.1
		3						2013.4.1
東部	1	多段ターボ	180	10,800	6,800	290	2005.4.1	
	2						2005.4.1	

表-16 既設ブロワ仕様（新川水処理センター）

処理場名	No.	形式	定格仕様				稼働開始年月日	
			風量 (m3/min)	風量 (m3/h)	吐出圧力 (mmAq)	所要動力 (kW)		
新川 水処理 センター	新川第1	1	多段ターボ	199.1	11,946	5,420	270	2009.3.16
		2						2009.3.16
		3						1999.4.1
		4						1996.4.1
		5						1996.4.1
	新川第2	1	磁気浮上	180	10,800	6,200	239	2012.4.1
		2						2011.4.1
		3						2011.4.1
	手稲	1	多段ターボ	215	12,900	5,800	360	1978.3.1
		2						1978.3.1
		3						1982.3.1
		4				1994.3.1		
		5				5,488		2006.4.1

b)ブロウ形式の比較

ブロウ形式は、遠心式としては①歯車増速式単段ターボブロウや、②多段ターボブロウ（従来型）、日本下水道施設業協会 HP に掲載されている③多段ターボブロウ（アルミ合金インペラ）、④高速電動機直結単段ターボブロウ（磁気浮上）、⑤高速電動機直結単段ターボブロウ（空気浮上）が挙げられる。容積式としては、⑥ルーツブロウが挙げられる。表-17 に各ブロウの比較表を、図-11 に各ブロウの容量イメージを示す。

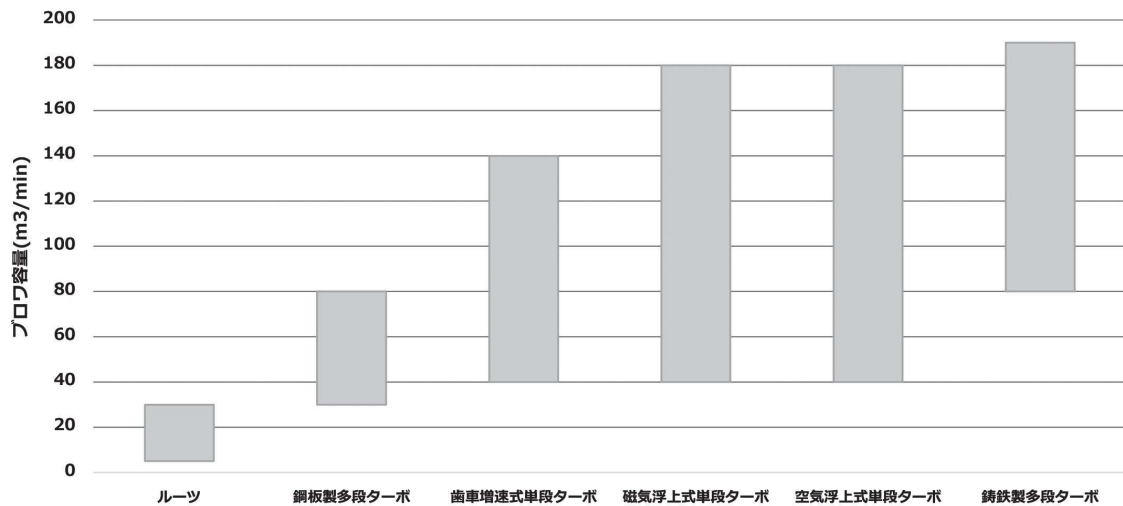


図-11 各ブロウの容量イメージ

表-17 にブロウの風量制御についての記載があり、一般的にはインレットベーン制御とインバータ制御がある。

図-12 はインレットベーン制御とインバータ制御のブロウの動力特性を表したものであるが、これによるとインバータ制御はインレットベーン制御より 10%程度の動力削減が見込まれることがわかる。このため、ブロウの省エネルギー化を進めるには、インバータ制御のブロウへの更新が有効となるが、導入にあたっては維持管理を含めた LCC 比較が必要となる。

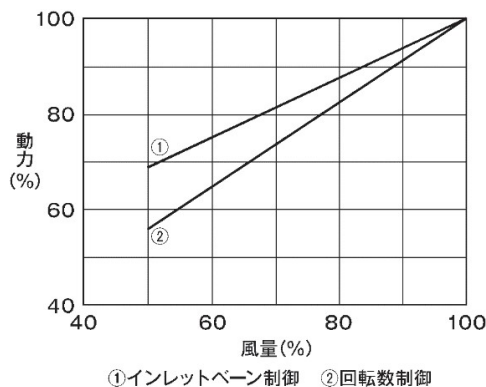
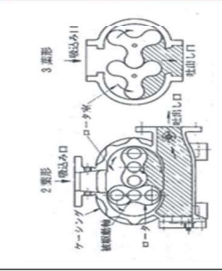
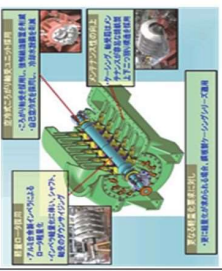
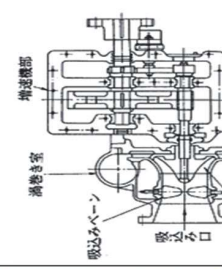
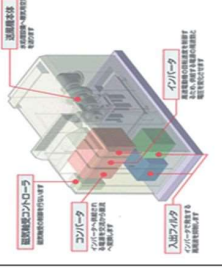
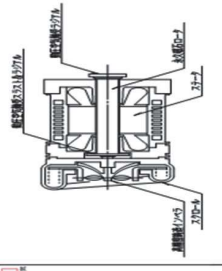



図-12 ブロウの動力特性（回転数制御と多段ブロウのインレットベーン制御の比較）

出典：空気浮上式高速ターボブロウの紹介（一般社団法人日本産業機械工業会「産業機械 No.816」2018年9月号）

表-17 ブロワ比較表

<p>項目</p>	<p>①ルーツブロワ</p> 	<p>②銅板装多段ターボブロワ (アルミ合金インペラ)</p> 	<p>③歯車増体式単段ターボブロワ</p> 	<p>④高速電動機直結単段ターボブロワ (横気浮上)</p> 	<p>⑤高速電動機直結単段ターボブロワ (空気浮上)</p> 	<p>⑥多段ターボブロワ (従来型)</p> 	<p>クエンチング内に取られた膜のローターを互いに逆方向に回転させて、ロードクエンチングの面に閉じ込められた気体を吸入し口から吐出し口へ送り、この気体が吐出し口に押し出される際の密閉の密化によって圧力を上昇させる。</p>	<p>・電動機と直結した被送機(3~8段)の羽根車を回転させる。</p>	<p>・電動機と直結した1段の羽根車を被送機により浮上させるため密閉が保たれない。電動機が吐出し口に吐出し口を回転させるため吐出し口を回転させることなく単段で所定圧力を得ることができ。</p>	<p>・潤滑油と直結した冷卻水配管が不要のため日産の設計に手間がかからない。 ・羽根車が1個のため点検が容易である。 ・ベアリングの潤滑は手動潤滑を行う必要がある。</p>	<p>・潤滑油と直結した冷卻水配管が不要のため日産の設計に手間がかからない。 ・羽根車が1個のため点検が容易である。 ・ベアリングの潤滑は手動潤滑を行う必要がある。</p>	<p>・電動機と直結した被送機(3~8段)の羽根車を回転させる。</p>
<p>②一般的な適用 風量 (m³/min)</p>	<p>小</p>	<p>中</p>	<p>中</p>	<p>中</p>	<p>中</p>	<p>大</p>						
<p>③維持管理</p>	<p>・圧力条件によっては冷却水設備が必要になる。 ・圧縮・昇圧が多いため構造が複雑である。また、潤滑油の交換頻度が多くなる。</p>	<p>・潤滑油と直結した冷卻水配管が不要である。 ・圧縮・昇圧が多いため構造が複雑である。また、潤滑油の交換頻度が多くなる。</p>	<p>・潤滑油と直結した冷卻水配管が不要である。 ・圧縮・昇圧が多いため構造が複雑である。また、潤滑油の交換頻度が多くなる。</p>	<p>・潤滑油と直結した冷卻水配管が不要である。 ・圧縮・昇圧が多いため構造が複雑である。また、潤滑油の交換頻度が多くなる。</p>	<p>・潤滑油と直結した冷卻水配管が不要である。 ・圧縮・昇圧が多いため構造が複雑である。また、潤滑油の交換頻度が多くなる。</p>	<p>・潤滑油と直結した冷卻水配管が不要である。 ・圧縮・昇圧が多いため構造が複雑である。また、潤滑油の交換頻度が多くなる。</p>						
<p>④風量削減</p>	<p>インバータ</p>	<p>インレットベーン</p>	<p>インレットベーン</p>	<p>インレットベーン+インバータ</p>	<p>インバータ</p>	<p>インレットベーン</p>						
<p>⑤省エネ効果</p>	<p>○</p>	<p>△</p>	<p>△</p>	<p>○</p>	<p>○</p>	<p>△</p>						
<p>⑥国内導入実績 (2022年時点)</p>	<p>多款</p>	<p>40台程度</p>	<p>多款</p>	<p>200台程度</p>	<p>50台程度</p>	<p>多款</p>						

c) エネルギー効率が低いブロワ容量と台数の設定

現有設備で省エネルギー化を進めようとした場合、ブロワ容量が過大であったり、DO制御時にブロワ動作が不安定になるなど、制約や課題があげられた。

表-18 は令和3年度におけるブロワの稼働実績を整理したものであるが、水再生プラザによってはブロワ容量が過大となっている。

表-18 令和3年度におけるブロワの稼働実績

水再生プラザ名	日平均ブロワ送風量実績 (m ³ /分)	既設ブロワ容量 (m ³ /分/台)	ブロワ運転台数の実績 (台)	既設ブロワの台数(予備別途) (台)
創成川第一	291	110	2~3	3
創成川第二	206	124	2	2
拓北	44	50	1	2
伏古川	135	110	2	3
茨戸	257	160	1~2	4
豊平川第一	240	165	1~2	3
豊平川第二	222	140	2	3
厚別	546	180	2~3	4
定山溪	4	28	1	2
東部	120	180	1	1
新川第一	381	199	1~3	4
新川第二	216	180	2~4	2
手稲	777	215	2~3	4

上記を踏まえ、設備更新時には必要空気量に見合った省エネ型ブロワを導入し、現有設備におけるDO制御時の不安定動作の検証を行い、ブロワ容量と台数の検討を行う必要がある。

以下にブロワ設備更新時における容量と台数についての考え方を示す。

- ① ブロワ設備の更新時には施設ごとに詳細な検討が必要となるが、本調査では省エネの観点からインバータ制御が可能なブロワを導入することとした。
- ② ブロワ容量及び台数については、表-13 で設定した必要空気量及び「令和3年度実績における日平均流入汚水量」と「計画日最大流入汚水量」の比率をもとに算出した「計画日最大必要空気量」を考慮して設定した。

なお、ブロワの必要空気量については、詳細な検討時に基準空気量 (Nm³) と規定空気量 (m³) の換算が必要であることを留意する。

(本市における規定状態：汎用圧縮機の容量表示条件で「大気圧 (1.0332kgf/cm²)」、「温度 30℃」、「相対湿度 RH 75%」)

上記内容を踏まえた設備更新時におけるブロワ容量と台数の検討案を表-19に示す。

表-19 設備更新時のブロワ容量と台数の検討案

水再生プラ ザ名	日最大 必要空気量 表-13より (m ³ /分)	日平均 流入汚水量 R3実績 (m ³ /日)	計画日最大 流入汚水量 (m ³ /日)	計画日最大 必要空気量 (m ³ /分)	設備更新時 ブロワ容量/台 (m ³ /分)	設備更新時 台数* (台)
創成川第一	147	45,743	81,000	260	130	2
創成川第二	124	42,655	63,000	183	90	2
拓北	26	7,228	16,000	58	30	2
伏古川	133	32,177	49,000	203	100	2
茨戸	233	70,067	95,000	316	160	2
豊平川第一	230	73,630	96,000	300	100	3
豊平川第二	213	59,289	90,000	323	110	3
厚別	348	95,213	154,800	566	140	4
定山溪	5	5,874	14,000	12	20	1
東部	92	28,798	40,000	128	70	2
新川第一	224	78,481	128,000	365	120	3
新川第二	189	64,910	110,000	320	160	2
手稲	515	161,568	220,000	701	180	4

※予備別途

上記検討案は本調査独自のものであり、実際の設備更新時には、各プラザにおける運転実績や現状の課題等も踏まえて詳細な検討が必要となるが、概ね既設ブロワ規模よりも小さくなることが確認された。

また、ブロワ設備更新時には、省エネルギー化を優先しつつ維持管理性も含めた LCC についても考慮する必要がある。

d) 省エネルギー化に向けた制御方法の検討

ブロワの送風量を調節する方法については、一般的に以下のものが考えられる。

- ・台 数 制 御：運転台数設定値を定めて、風量によって台数を増減させる。
- ・風 量 一 定 制 御：風量調節弁の制御により、送風量を一定にする。
- ・圧 力 一 定 制 御：吸込み弁又は回転数制御により、ブロワの吐出圧力を一定に保つ。
- ・D O 一 定 制 御：風量調節弁により風量を調節し、反応タンクの特定の箇所の DO 値を一定に保つ。
- ・流入水量比例制御：反応タンク流入水量の変動に伴い、送風倍率が一定となるように風量を調節する。

現状、施設の条件によって上記制御方法を選択または組み合わせて運転を行っている。ただし、台数制御や風量一定制御では流入負荷変動が考慮されないため、余分な曝気を行うことも想定される。また、DO 制御においても反応タンクの滞留時間分のタイムラグがあるため、「時間変動データによる省エネの評価と考察」のとおり、目標 DO を超過する時間帯も発生しうる（※ブロワの仕様上、ブロワの発停が繰り返され故障につながる風量域があるため、風量を下げすぎない、または DO 制御を採用しない水再生プラザもある）。

こうした問題を解消する一つの手法として「下水処理場のエネルギー最適化に向けた省エネ技術導入マニュアル（案）-2019年6月 国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部」において硝化促進型の処理場における有効な送風量制御方法：「アンモニアセンサーによる制御」があげられている。

3.2.4 設備更新による消費電力量及びCO₂の削減効果

a) ブロワ送風量削減による消費電力量の削減

設備更新に合わせ、反応タンク内のMLDOを1.5mg/L、メンブレンフィルターを標準装備とし、嫌気槽へ機械攪拌機の導入、その他風量の見直しを図ることとし、ブロワの必要空気量を求めてきた。さらにA-SRTを最小化した場合のMLSS濃度の見直しによる効果も加味して各水再生プラザのブロワ送風量の削減率を算出した。

また、送風量と電力量削減率との相関式(図-6～図-8)を用い、ブロワ送風量の削減率から消費電力量の削減率を推計し、表-20に整理した。

表-20 設備更新におけるブロワ送風量と電力量の削減効果(令和3年度稼働実績ベース)

水再生プラザ名	R3年度実績 日平均ブロワ送風量 (m ³ /分)	設備更新後の日平均ブロワ送風量(m ³ /分)				送風量の削減率 (%)	電力量の削減率 (%)
		必要空気量	負荷変動等 余裕分	MLSSの見直し 3.1.2b) 参照	計		
創成川第一	291	102	19	-4	117	60	49
創成川第二	206	86	16	-5	97	53	41
拓北	44	18	3	-1	20	55	27
伏古川	135	93	17	-2	108	20	10
茨戸	257	162	30	-14	178	31	16
豊平川第一	240	200	30	-18	212	12	10
豊平川第二	222	201	28	-35	194	13	11
厚別	546	242	45	-31	256	53	45
定山溪	4	3	1	0	4	0	0
東部	120	78	12	0	90	25	12
新川第一	381	156	29	-5	180	53	44
新川第二	216	131	25	-4	152	30	19
手稲	777	460	67	-40	487	37	36
計	3,439	1,932	322	-159	2,095	39	31

現有設備での省エネルギー化による送風量の削減効果は22%であったが、設備更新時にはさらに、メンブレンフィルター及び機械攪拌機の導入効果と、その他風量の見直し分が加味され、全プラザで39%の削減効果が見込まれる結果となった。また、消費電力量の削減率を推計したところ、プラザ全体で31%となった。

※以上の試算は嫌気槽や沈砂池等で使われている風量(その他風量)を見込んでいないため、これらに必要な機械攪拌機や空気圧縮機等のエネルギー消費量は別途見込む必要があることに留意する。

表-20 をもとにブロワ送風量（日平均）について令和3年度運転実績と設備更新時の比較を行ったものを図-13 に示す。

この結果、創成川第一、創成川第二、厚別、新川第一、手稲の各水再生プラザにおいてブロワ設備更新時の送風量の削減効果が高いことが示された。

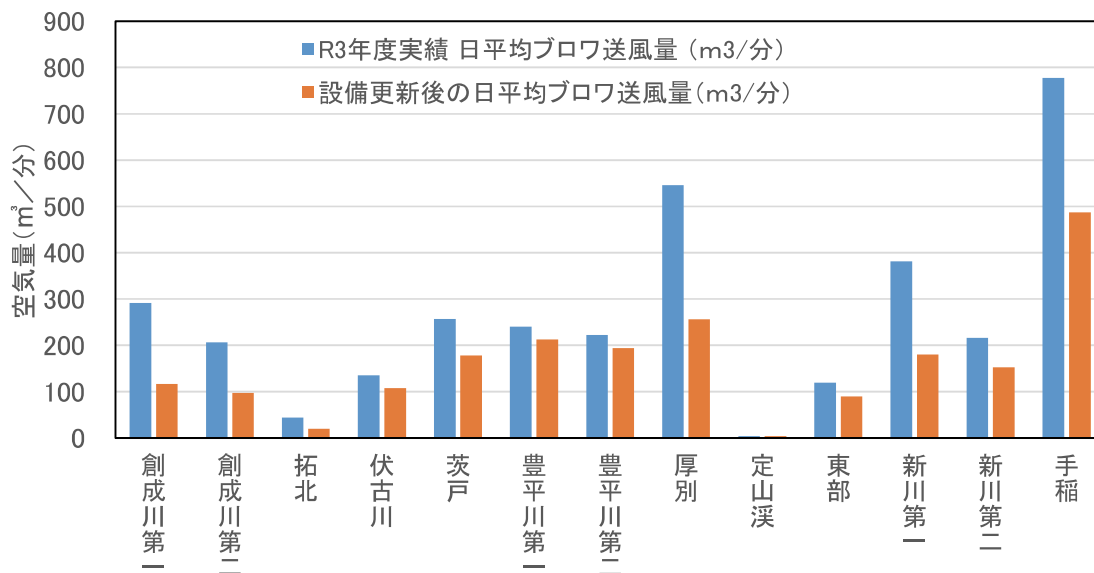


図-13 令和3年度運転実績とブロワ設備更新時の送風量比較（令和3年度稼働実績ベース）

b) インバータ制御方式導入による消費電力量の削減

インバータ制御の省エネ型ブロワは、インレットベーン制御の多段式ターボブロワに比べて10%のエネルギー削減効果があると仮定（図-12 参照）し、ブロワ本体の省エネ効果も加味した消費電力量の削減効果を表-21 に整理した。

表-21 設備更新におけるブロワ消費電力量の削減効果（令和3年度稼働実績ベース）

水再生プラザ名	R3 年度実績 消費電力量 (kWh)	ブロワ電力量 の削減率 (%)	削減後の 消費電力量 (kWh)	ブロワ本体の 省エネ効果*を加味 した消費電力量(kWh)	設備更新時の ブロワ電力量の 削減率 (%)
創成川第一	3,613,820	49	1,843,048	1,658,743	54
創成川第二	3,315,140	41	1,955,933	1,760,340	47
拓北	718,800	27	524,724	472,252	34
伏古川	2,394,890	10	2,155,401	1,939,861	19
茨戸	3,277,600	16	2,753,184	2,477,866	24
豊平川第一	2,732,580	10	2,459,322	2,213,390	19
豊平川第二	2,750,558	11	2,447,997	2,203,197	20
厚別	6,069,760	45	3,338,368	3,004,531	51
定山溪	123,283	0	123,283	110,955	10
東部	1,907,910	12	1,678,961	1,511,065	21
新川第一	4,270,890	44	2,391,698	2,152,528	50
新川第二	2,453,224	19	1,987,111	1,788,400	27
手稲	7,908,300	36	5,061,312	4,555,181	42
計	41,536,755	31	28,720,342	25,848,309	38

※インバータ制御方式による消費電力量の削減（10%削減）

以上より、設備更新における最終的なブロワ電力量の削減率は、令和3年度のブロワ電力量に対して38%となり、使用電力量では約15,688千kWh/年の削減となる。

c)ブロワ設備更新による CO₂ 排出量の削減

ブロワ設備更新による CO₂ 排出量の削減については、表-22 のとおり削減量を CO₂ 換算すると、気候変動対策の目標値に対して約 17%に相当する結果となった。

さらに、北海道電力の電力量料金単価 21.51 円/kWh（※2024 年 4 月 1 日の見直し以降、産業用_高圧電力_一般料金）をもとに、削減ブロワ電力量に対応する削減費用を算出すると、約 337,458 千円/年となった。

表-22 設備更新を踏まえた CO₂ 排出量の削減予測（令和 3 年度稼働実績ベース）

削減可能な ブロワ電力量	CO ₂ 排出係数 ^{※1} (北海道電力)	削減可能な CO ₂ 排出量	2030 年までの 削減目標 ^{※2}
15,688,446 kWh/年	0.535 kg-CO ₂ /kWh	8,393 t-CO ₂ /年	48,000 t-CO ₂ /年
	電力量単価 (北海道電力)	削減費用	
	21.51 円/kWh	337,458 千円/年	

※1 2022 年度確報値

※2 本市下水道河川局では、2022 年度から 2030 年度までに 48,000 t/年の CO₂ 削減を目標値として想定

4. まとめ

- ・札幌市の水再生プラザにおける、MLD0 と MLSS 濃度の見直しによる現有施設での空気量の削減効果について、「下水道施設の設計指針」の必要空気量算出方法を用いて予測を行った。
- ・その結果、全施設トータルで削減可能な電力量は約 8,944 千 kWh/年となり、これは全ブロワ電力量の 22%に相当することが確認できた。
- ・また、この電力量の削減による削減可能な CO₂ 排出量は 4,785 t/年となり、本市下水道河川局が掲げている 2030 年度までの目標の 10%程度を賄うことができる試算結果となった。
- ・次に、設備更新時を見据えた省エネルギー化としては、MLD0 と MLSS 濃度の見直しに加えて、全ての施設へのメンブレンフィルターの導入、嫌気槽への機械攪拌の導入、反応タンク以外へのブロワ送風の見直し、インバータ制御のブロワの導入による削減効果の予測を行った。
- ・その結果、全施設トータルで削減可能な電力量は約 15,688 千 kWh/年となり、全ブロワ電力量の 38%に相当する。
- ・また、削減可能な CO₂ 排出量は 8,393 t/年となり、目標の 17%程度を賄うことができる試算結果となった。

5. おわりに

- 本調査で算出した送風量や電力量の削減量は、想定した条件での計算値であり、現有施設や将来施設における削減量を高い精度で予測したものではない。
- また現有施設では、DO制御の有無や、DO制御が可能であってもブロワ動作との連携に問題があるなどの制約や課題があるほか、手動によるブロワ操作や現場での風量調整などの対応が必要となる場合もあり、送風量の削減には設備の改善や、運転に係る関係者の協力が前提となる。
- 現有施設において省エネルギー化を進めるには、施設ごとの詳細な検討や実証運転が必要であり、その際には、水処理センターの管理係、設備係、運転係に加え、委託プラザにおいては、当会社や運転管理業者との連携協力が不可欠である。
- 省エネの取組事例やノウハウは、他施設の取組に参考となることから、組織横断的な情報共有やプロジェクトなど検討の場を持つことが有効である。
- 設備更新の設計時には、現有施設の運転状況や課題等を踏まえた検討が必要であり、設計部門と維持管理部門との情報共有や連携が重要である。