

令和2年度 垂水処理場本場2系における硝化抑制運転

西水環境センター管理課水環境係

1. 運転方法

令和2年度は栄養塩管理運転期に本場2系で硝化抑制運転を実施した。硝化抑制運転は好気槽の割合を減少、空気量の削減、MLSS濃度を低下させて実施した。通常期と栄養塩管理運転期の運転条件を表1に示す。

また、硝化促進運転から硝化抑制運転への移行期間に反応タンクの次の水質項目について調査した。

調査項目：溶存酸素 (DO)、酸化還元電位 (ORP)、pH 値、生物化学的酸素要求量 (BOD)
化学的酸素要求量 (COD)、全窒素 (T-N)、アンモニア態窒素 (NH₄-N)
亜硝酸態窒素 (NO₂-N)、硝酸態窒素 (NO₃-N)、全リン (T-P)、浮遊物質 (SS)

表1 本場2系の通常期と栄養塩管理運転期の運転条件

	通常期 (5~9月)	栄養塩管理運転期 (4、10月~3月)
①嫌気：好気比	5：13	8：10
②空気量制御	DO制御	空気倍率制御※
設定値・倍率	1.0~1.5mg/L	約4~5倍
空気量削減率(%)	-	約20~60%(前年比)
③脱水返流水割合(%)	0%	100%
④MLSS濃度(SRT低下)	1800~2200	1500~1800
⑤AT池数(HRT削減)	3池(6水路)	2池(4水路)
⑥返送率	90%	70%

※完全に硝化が抑制(完全未硝化)した後にDO制御とした

なお、本場1系についてはこれまで同様、汚泥返送率70%とした脱窒抑制運転を実施した。(通常期の汚泥返送率：90%)

2. 結果

(1) 生物反応槽調査結果【別紙1参照】

図1に本場2系生物反応槽の各区画の水質調査結果を示す。10月以降、空気量を削減するとともにMLSS濃度を徐々に下げ、10月28日に生物反応槽を3池から2池運用へ変更した。その結果、10月27日の調査では嫌気槽(第1~8区画)でアンモニア態窒素(NH₄-N)が18~20mg/Lであったが、11月の調査では26~28mg/Lと上昇した。好気槽(第9~18区画)でNH₄-Nは徐々に減少し、硝酸態窒素(NO₃-N)は増加する傾向が認められた。NO₃-Nが上昇し始める区画は、10月は9区画目であったのに対して、11月は11区画目となっており、好気槽における硝化作用の低下が考えられる。また、11月は生物反応槽でのpH値の低下はなく、硝化が抑制されていることを支持する結果であった。なお、この2回の調査においてBODやCODの上昇など硝化抑制の進行に伴う処理水質の悪化はなかった。

一方、11月のT-Pは嫌気槽でのリンの吐き出し多く、好気槽で速やかに摂取されていた。

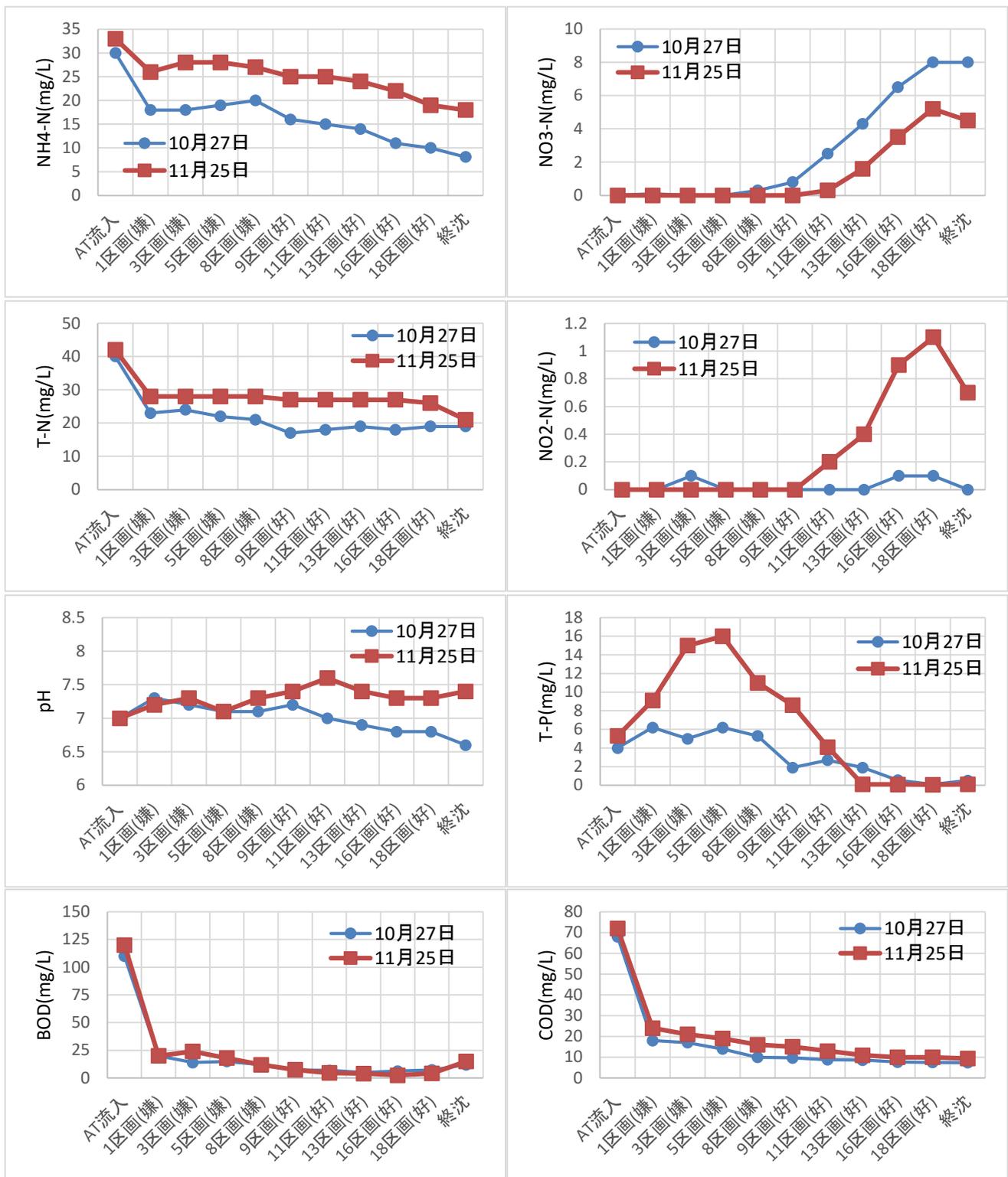


図1 本場2系生物反応槽の各区画の水質変化

(2) 最終沈殿池の窒素濃度の推移

図2に本場2系最終沈殿池の窒素類の濃度を示す。通常期は硝化促進運転を実施していたため、9月まではアンモニア態窒素 (NH₄-N) はほぼ検出されなかった。硝化抑制運転を開始した10月以降、硝酸態窒素 (NO₃-N) の減少につれてNH₄-Nの増加が認められ、全窒素濃度も増加した。この変動は緩やかであり、硝化促進から硝化抑制に至るまで2か月程度の期間を必要とした。また、1月中旬以降は、硝酸態窒素 (NO₃-

N) 及び亜硝酸態窒素 (NO₂-N) が検出されなくなり完全に硝化が抑制された。

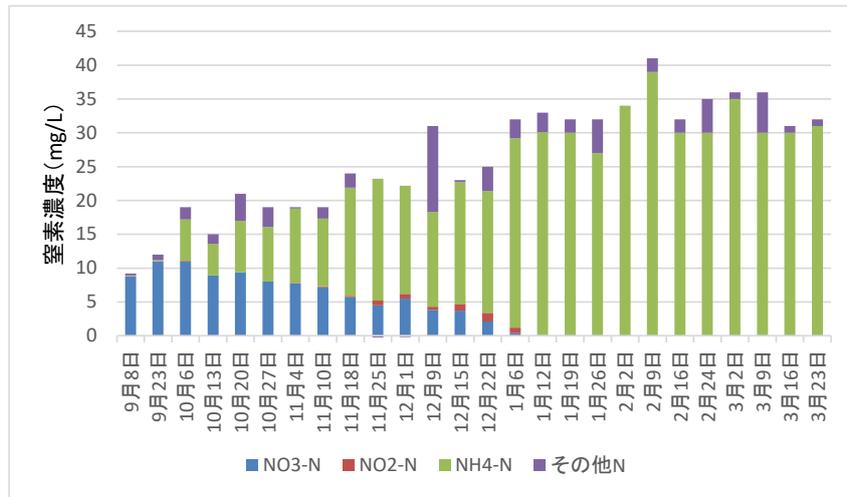


図2 本場2系最終沈殿池の窒素類濃度の推移

(3) 全窒素、全リンの流入濃度及び除去率

図3に令和2年度及び平成27年度(栄養塩管理運転未実施)の本場2系の最初沈殿池流出水の全窒素及び全リン濃度、また、全窒素及び全リンの除去率の月別推移を示す(最初沈殿池流出水に対する除去率)。平成27年度は負荷の高い場内排水(脱水返流水)が通年で本場へ流入しており、通常期も全窒素及び全リン濃度が高いが、令和元年及び2年度の通常期は返流水を東系へ流入させたため、通常期は低かった。

令和2年度の通常期の全窒素除去率はこれまで同様、約70%程度であるが、10月以降の硝化抑制運転によって除去率は徐々に低下し、約20%まで下がった。一方で、全リン除去率は高く、10月以降は90%程度で推移した。

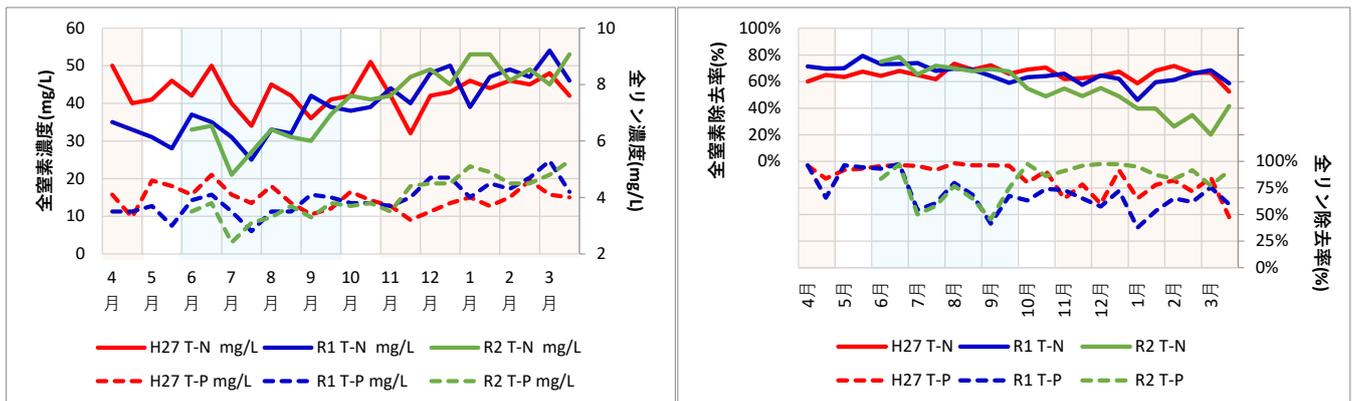


図3 最初沈殿池流出水の全窒素・全リン濃度及び除去率の月別推移

(青網掛け：通常期、赤網掛け：栄養塩管理運転期)

[左：全窒素及び全リン濃度、右：全窒素及び全リン除去率]

(3) 全窒素及び全リン放流負荷量

図4に垂水処理場本分場系の全窒素及び全リンの放流負荷量の月別推移を示す。また、表2に平成27年度以降の窒素及びリンの放流負荷量を示す。栄養塩管理運転を開始した10月以降、本場2系の硝化抑制運転によって全窒素の放流負荷量は増加しており、令和2年度はこれまでより全窒素の負荷量が増加した。

一方で、全リンの放流負荷量は本場 2 系のリン濃度低下のため減少した。

表 2 に平成 27 年度から令和 2 年度の窒素及びリンの放流負荷量を示す。本分場系と東系を合わせた垂水処理場からの放流負荷量も同様に、栄養塩管理運転期の対 H27 年度比で約 27%増量できた。

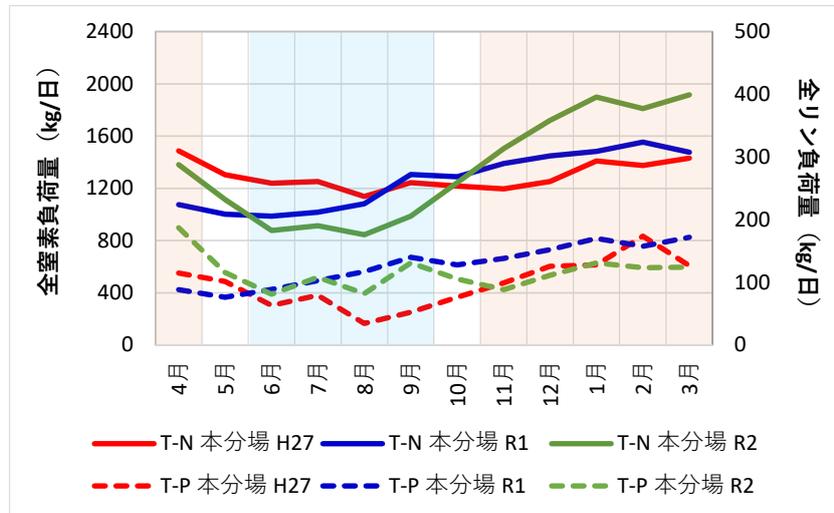


図 4 垂水処理場本分場系の全窒素及び全リン放流負荷量の月別推移
(青網掛け：通常期、赤網掛け：栄養塩管理運転期)

表 2 平成 27 年度から令和元年度の窒素及びリンの放流負荷量

	年度	通常期 (5~9月)	栄養塩管理運転期 (4月, 10~3月)	栄養塩管理運転期 の対 H27 年度比	栄養塩管理運転期 の対通常期比
窒素 (T-N)	H27 (未実施)	1,466 kg/日	1,603 kg/日	—	+9%
	H28	1,666 kg/日	1,869 kg/日	+17%	+12%
	H29	1,700 kg/日	1,968 kg/日	+23%	+16%
	H30	1,801 kg/日	1,903 kg/日	+19%	+6%
	R1	1,540 kg/日	1,777 kg/日	+11%	+15%
	R2	1,402 kg/日	2,036 kg/日	+27%	+45%
リン (T-P)	H27 (未実施)	68 kg/日	111 kg/日	—	+63%
	H28	97 kg/日	134 kg/日	+21%	+38%
	H29	85 kg/日	148 kg/日	+33%	+74%
	H30	142 kg/日	152 kg/日	+37%	+7%
	R1	140 kg/日	157 kg/日	+41%	+12%
	R2	122 kg/日	146 kg/日	+32%	+20%

(4) 栄養塩管理運転の放流水への影響

図 5 に本分場放流水の BOD、C-BOD、COD 及び SS 濃度を示す。令和 2 年度の 10 月以降は、本場 2 系の硝化抑制運転によって放流水中にアンモニア態窒素が存在したため、本分場系放流水の BOD が上昇した。県条例改正によって BOD 上乗せ排水基準が撤廃されているため、現在は問題のない値である。また、COD、C-BOD は問題となる水準ではないものの、栄養塩管理運転期にやや高くなる傾向が認められた。

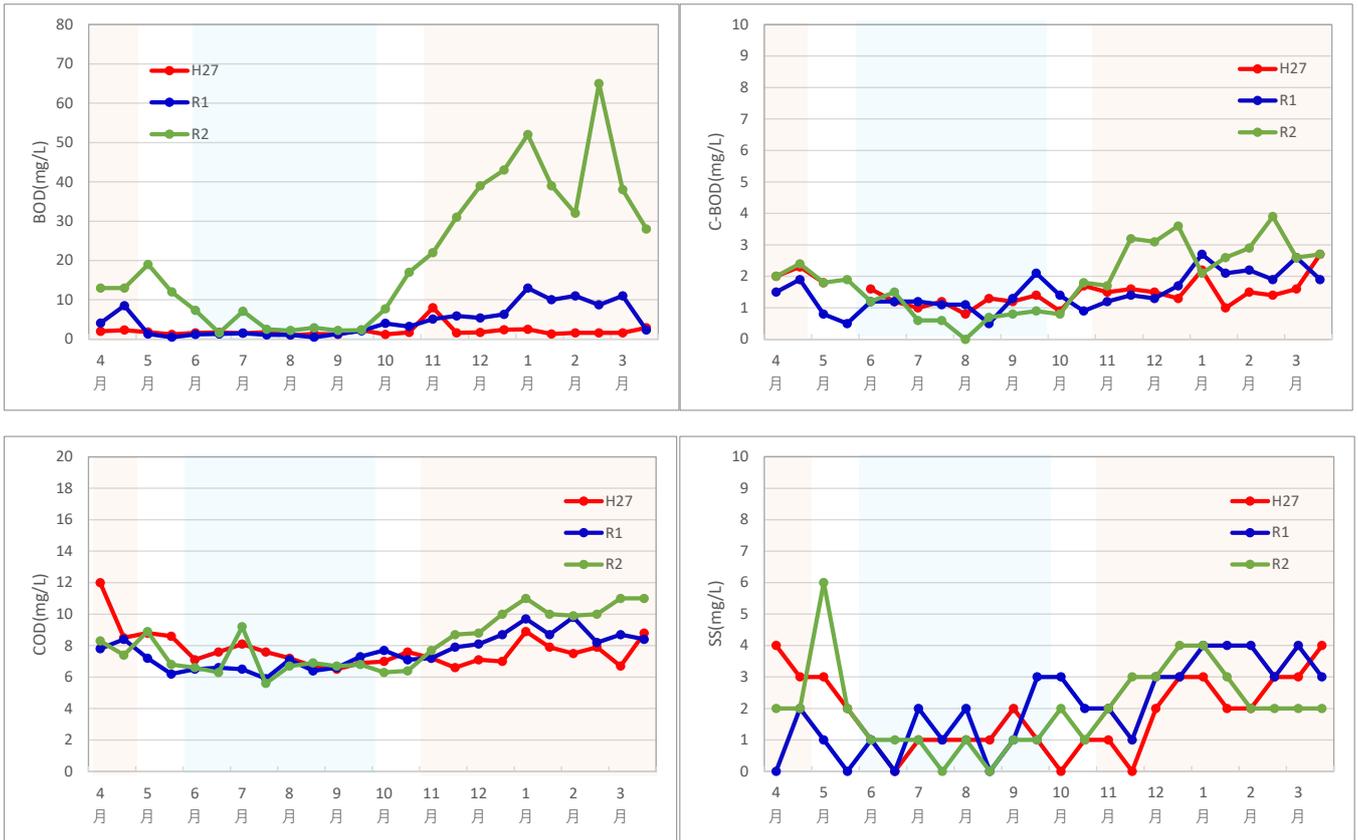


図5 本分場放流水のBOD、C-BOD、COD及びSSの月別推移
 (青網掛け：通常期、赤網掛け：栄養塩管理運転期)
 [左上:BOD、右上:C-BOD、左下:COD、右下:SS]

(5) 栄養塩管理運転における空気倍率及び送風機の電力量

本場1系及び2系の空気倍率及び本場送風機の電力量の月別推移を図6に示す。栄養塩管理運転期は本場2系で硝化抑制運転によって空気倍率を下げたため、本場送風機の電力量は前年度より減少傾向で推移した。

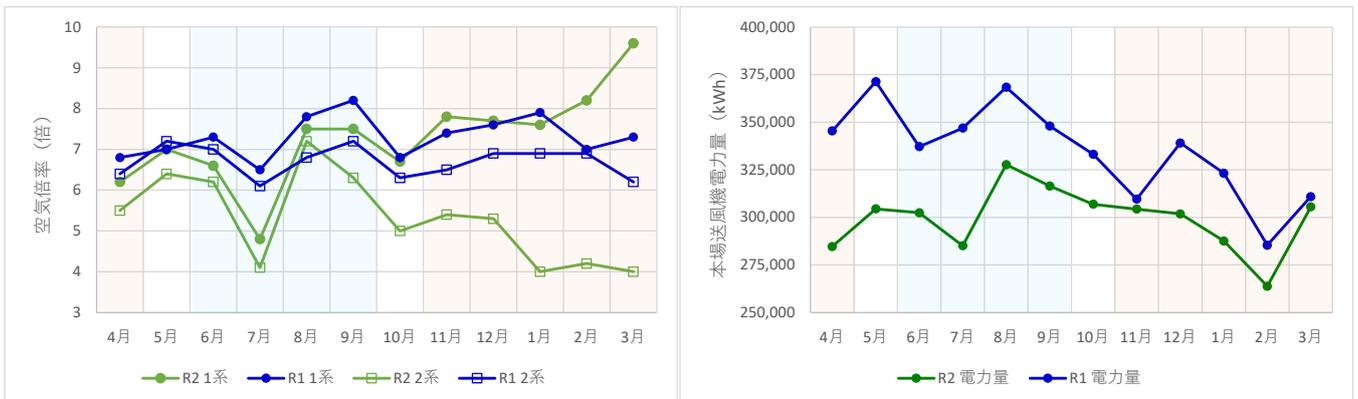


図6 本場の空気倍率及び送風機の電力量の月別推移
 (青網掛け：通常期、赤網掛け：栄養塩管理運転期)
 [左:空気倍率、右:送風機電力量]

3. 考察

(1) 本場 2 系の空気倍率及び好氣的固形物滞留時間 (A-SRT)

① 空気倍率と溶存酸素 (DO) 濃度

図 7 に本場 2 系の空気倍率及び溶存酸素 (DO) 濃度及び MLSS 濃度の推移を示す。また、表 3 に本場 2 系生物反応槽の空気量制御方法と制御値を示す。空気量の制御は 9 月 28 日以降、DO 制御から空気倍率制御に変更し、倍率を段階的に下げて強制的に空気量を削減した。1 月になってから DO が上昇し始めたため、空気倍率を 3.2 倍まで下げた。その後、完全に硝化が抑制されていたため、1 月 18 日から DO 制御に変更した。DO 制御値を 1.3mg/L とした場合においても、硝化が抑制された状態を維持できた。

図 2 から 1 月以降は NH₄-N がさらに増加し、1 月 12 日には完全未硝化となっている。空気倍率が一定にも関わらず、DO が上昇する時点 (図 7 中の赤丸) が完全に硝化が抑制されたことを示すと考えられる。

表 3 本場 2 系空気量制御方法と制御値



図 7 本場の空気倍率、DO 及び MLSS の月別推移

月日	制御方法	制御値
9月9日	DO制御	1.3
9月14日	↓	1.0
9月28日	空気倍率制御	6.0
10月7日	↓	5.7
10月12日	↓	5.0
12月9日	↓	4.7
12月23日	↓	4.3
1月8日	↓	3.2
1月18日	DO制御	0.7
2月3日	↓	0.9
2月18日	↓	1.1
3月3日	↓	1.3

② 好氣的固形物滞留時間 (A-SRT)

図 8 に好氣的固形物滞留時間 (A-SRT)、空気倍率及び A-SRT 充足率の推移を示す。A-SRT 充足率は実際の A-SRT と水温から算出される硝化に必要な A-SRT との比率である (A-SRT 充足率=A-SRT/硝化に必要な A-SRT)。10 月以降、余剰汚泥引抜量を増加させることに加えて 10 月 28 日に生物反応槽を 3 池から 2 池運用とした結果、A-SRT 充足率は 75%程度まで低下し、その後水温低下に伴い徐々に充足率は約 50%まで下がった。A-SRT が十分ではないにもかかわらず 12 月まで NO₃-N が残留していた。空気量を速やかに削減することによって、硝化抑制運転 (完全未硝化) への移行期間を短縮できる可能性がある。

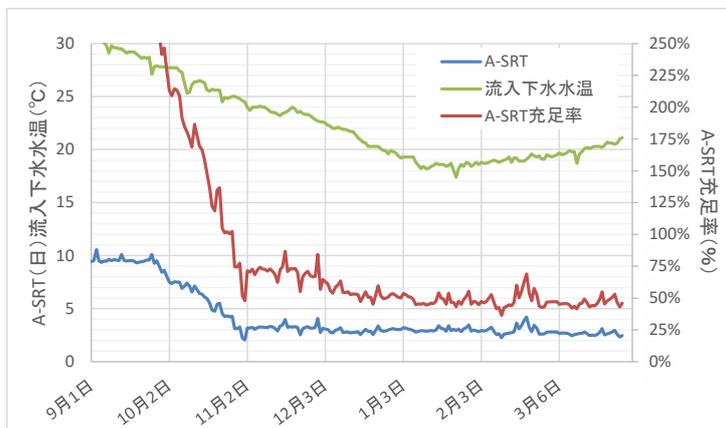


図 8 好氣的固形物滞留時間 (A-SRT)、流入下水水温及び A-SRT 充足率の推移

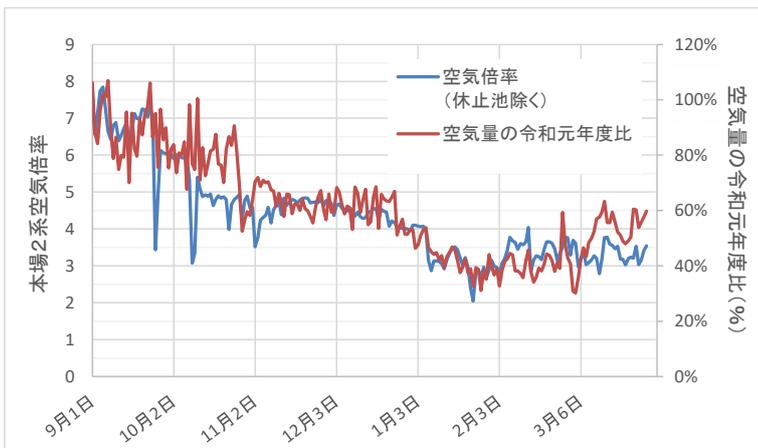
(2) 必要空気量

図9に本場2系の空気倍率及び空気量の令和元年度比の推移を示す。令和2年度は空気倍率を段階的に3倍程度まで下げた。その結果、空気量（休止池の空気量除く）は昨年度比で最大約40%まで低下した。

これは表4【別紙2】に示す必要酸素量の計算でも、硝化抑制運転時は約4割必要酸素量が減少する結果となり、実機と計算による空気（酸素）の減少量はほぼ一致する結果であった。

このことから空気量は水質の悪化に留意し、硝化促進（脱窒抑制）運転時の約4割（空気倍率として3倍程度）まで速やかに削減する必要があると考えられる。特に、硝化抑制移行期には亜硝酸態窒素（NO₂-N）が認められ、NO₂-Nによる水質悪化に注意する必要がある。

表4 必要酸素量【抜粋】



必要な酸素量	脱窒抑制運転	硝化抑制運転
有機物の酸化	1,940	2,234
硝化反応	4,509	0
内生呼吸	1,915	884
溶存酸素維持	71	71
合計	8,436	3,190

単位：kgO₂/d

図9 本場2系の空気倍率及び空気量令和元年度比の推移

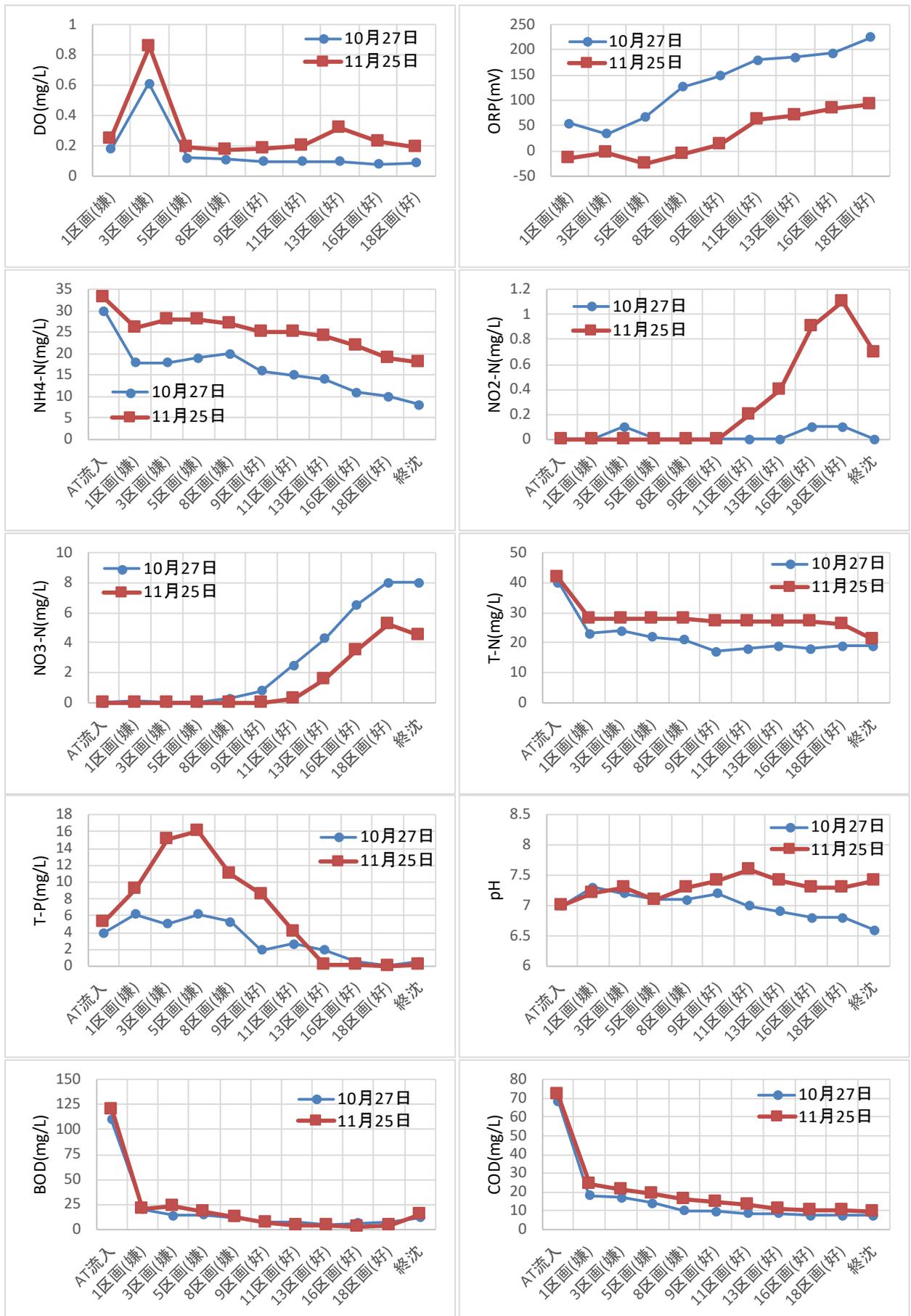
4. まとめ

(1) 令和2年度に実施した本場2系の硝化抑制運転で、これまで以上に全窒素の放流負荷量を増加させることができた。また、栄養塩管理運転による処理水質の大幅な悪化は確認されなかった。

(2) 硝化抑制運転に関して以下の知見が得られた。

- ・ 空気倍率は水質悪化に留意して3倍程度まで下げる必要がある
- ・ 移行期には亜硝酸態窒素が検出されるため、空気量を削減して増加を抑える必要がある
- ・ A-SRT充足率は50%程度とした場合、DOを上げても完全未硝化が維持できる
また、完全に硝化が抑制された後に、DO制御とすることでDOの変動を抑えることができる

【別紙1】本場2系生物反応槽調査における各区画の水質変化



緒元

処理水量		28000	m ³ /日
平均MLSS濃度	X	2000	mg/L
返送汚泥比	R _r	0.7	
返送汚泥濃度	τ	4857	mg/L
反応タンク容量	V	2600	m ³ /池
反応タンク使用池数		3	池
反応タンク嫌気：好気比	5 :	13	
反応槽総容量	V	15600	m ³
好気槽容量	V _A	11267	m ³
嫌気槽容量	V _{AN}	4333	m ³
	HRT	13.4	hr
溶解性BODの汚泥転換率	a	0.5	gMLSS/gBOD
SSの汚泥転換率	b	0.95	gMLSS/gBOD
内生呼吸係数	c	0.04	1/d
反応タンク流入水質（返流水含む）	BOD	140	mg/L
	SS	70	mg/L
	T-N	46	mg/L
	Kj-N	46	mg/L
2次処理水質	BOD	7	mg/L
	Kj-N	4.6	mg/L

必要酸素量

有機物の酸化に必要な酸素量	D _B	1940	kgO ₂ /d
脱窒により消費されるBOD量	K	2.5	kgO ₂ /kgN
除去BODあたりに必要な酸素量	A	0.6	kgO ₂ /kgBOD
硝化反応に必要な酸素量	D _N	4509	kgO ₂ /d
	C	4.57	kgO ₂ /kgN
	N _x	7 %	
内生呼吸に必要な酸素量	D _E	1915	kgO ₂ /d
単位MLVSS当たりの内生呼吸による酸素消費量	B	0.1	kgO ₂ /kgMLVSS
活性汚泥有機性微生物	MLVSS	1700	mg/L
MLSS中の有機物割合		85 %	
溶存酸素維持に必要な酸素量	D _O	71	kgO ₂ /d
好気槽末端溶存酸素濃度	C _{0A}	1.5	mg/L
必要酸素量		8,436	kgO ₂ /d

緒元

処理水量		28000	m ³ /日
平均MLSS濃度	X	1800	mg/L
返送汚泥比	Rr	0.7	
返送汚泥濃度	τ	4371	mg/L
反応タンク容量	V	2600	m ³ /池
反応タンク使用池数		2	池
反応タンク嫌気：好気比	8 :	10	
反応槽総容量	V	10400	m ³
好気槽容量	V _A	5778	m ³
嫌気槽容量	V _{AN}	4622	m ³
HRT		8.9	hr
溶解性BODの汚泥転換率	a	0.5	gMLSS/gBOD
SSの汚泥転換率	b	0.95	gMLSS/gBOD
内生呼吸係数	c	0.04	1/d
反応タンク流入水質（返流水含む）	BOD	140	mg/L
	SS	70	mg/L
	T-N	46	mg/L
	Kj-N	46	mg/L
2次処理水質	BOD	7	mg/L
	Kj-N	39	mg/L

必要酸素量

有機物の酸化に必要な酸素量	D _B	2234	kgO ₂ /d
脱窒により消費されるBOD量	K	2.5	kgO ₂ /kgN
除去BODあたりに必要な酸素量	A	0.6	kgO ₂ /kgBOD
硝化反応に必要な酸素量	D _N	0	kgO ₂ /d
	C	4.57	kgO ₂ /kgN
	Nx	7 %	
内生呼吸に必要な酸素量	D _E	884	kgO ₂ /d
単位MLVSS当たりの内生呼吸による酸素消費量	B	0.1	kgO ₂ /kgMLVSS
活性汚泥有機性微生物	MLVSS	1530	mg/L
MLSS中の有機物割合		85 %	
溶存酸素維持に必要な酸素量	D _O	71	kgO ₂ /d
好気槽末端溶存酸素濃度	C _{0A}	1.5	mg/L
必要酸素量		3,190	kgO ₂ /d