

汚泥消化プロセスの運用支援システムの考案

東京都下水道局 ○齋藤 和夫

1. はじめに

汚泥消化プロセスの管理は、投入汚泥、消化汚泥、消化ガスの性状と、このプロセスに隣接する汚泥の濃縮、脱水工程の情報に基づいて、投入汚泥量（消化日数）と消化温度をオペレータの経験により調整するものであった。

我々は、このような調整を的確なプロセスデータに基づいて行うことを目的として、実施設において汚泥消化プロセス特性の調査を行ってきた。その結果、汚泥消化プロセスの特性は比較的簡単な数式モデルで表現でき、その挙動の予測は通常の消化状態では精度よく実現でき、また、投入汚泥量は最適化投入汚泥量算定アルゴリズム（以下「最適化アルゴリズム」）の適用により、プロセス運用の安定化のみならず、処理効率や、熱効率の向上がはかれるとの見解を得た。1)

この調査結果から、最適化アルゴリズムによる投入汚泥量計算法とプロセスシミュレータを基本とする汚泥消化プロセス運用支援システムを考案した。

本システムを活用することで、汚泥を効率よく処理することが可能となり、ひいては、各処理プロセスに滞留する汚泥を減少させて、処理水質の向上に寄与することもできるものである。

特に、省エネルギー化が指向される今日、消化温度を制御して消化ガスの活用を図るには、本システムが大きな効果を発揮するものと考えられる。

2. システム構成

本システムのハード構成は、図-1に示すように消化プロセスのシミュレーション演算や投入汚泥流量の最適化演算等を行なう計算機とマン-マシンインターフェイスであるCRTおよびプロセスデータの入出力装置から成り、パソコン程度の機能をもつ装置で実現できる。

また、ソフトウェア構成は図-2に示すように最適投入汚泥量計画（最適化アルゴリズム）およびプロセスシミュレータから構成される。

このため、キーボード操作により、現在までのプロセスの状態や今後の状態予測、運用予測特性等をCRT画面上に表示させることができ、オペレータと計算機の対話によって適切なプロセス管理ができる。

(1) プロセスシミュレータとその精度

本システムに用いたプロセスシミュレータ（モデル）を図-3に示す。またシミュレーション演算に際しては、ルンゲ・クッタ・ジル法を用い、きざみを3時間とした。

同シミュレータにより、現時点から何日先までの予測が可能であるかを検討するため、東京都森ヶ崎処理場における昭和56年4月15日から100日間の実データを用いて、翌日、3日、5日、7日、10日後までの各ケースについて検討した。その結果の一部を図-4に、精度を表-1に示す。

同図、表により、各ケース共に全体的傾向として実側値とよく合っており、予測期間が長くなるにつれて精度は僅かに低下するものの、10日間程度の予測は十分可能と考えられる。

図-1 ハードウェア構成図

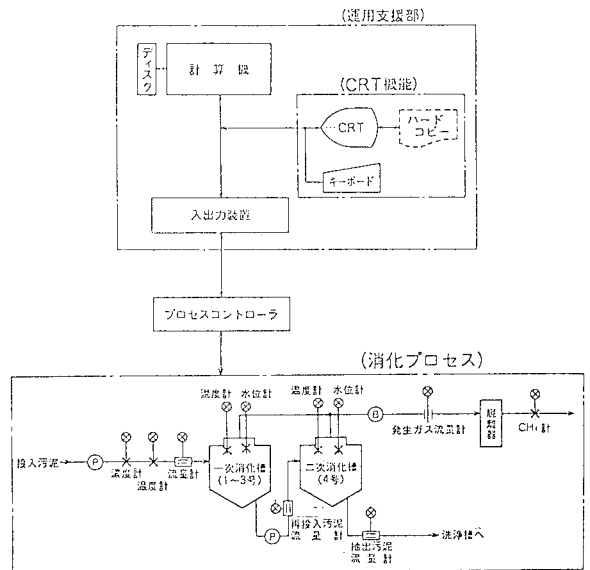


図-2 ソフトウェア構成図

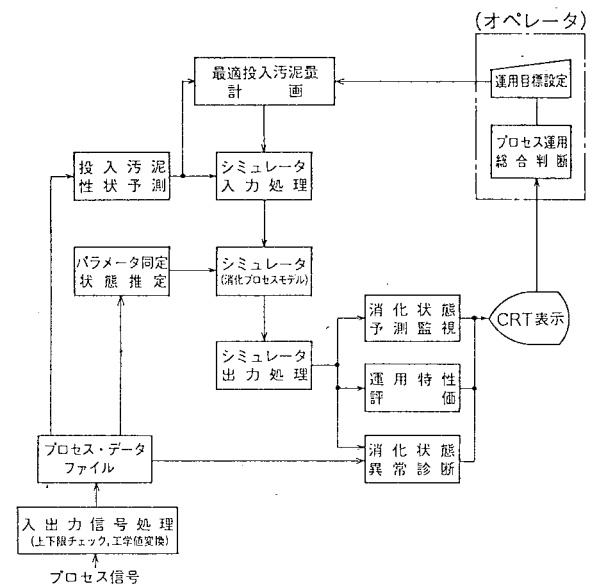
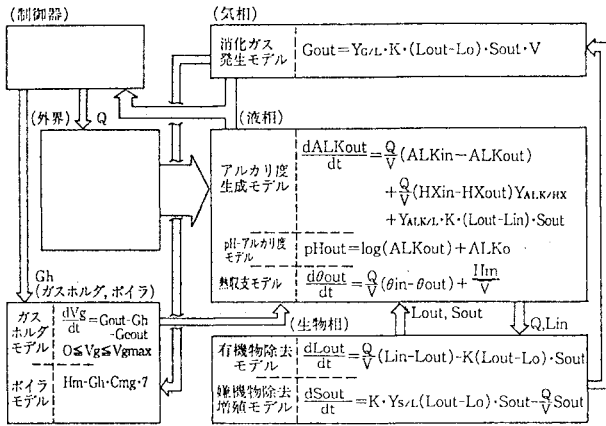
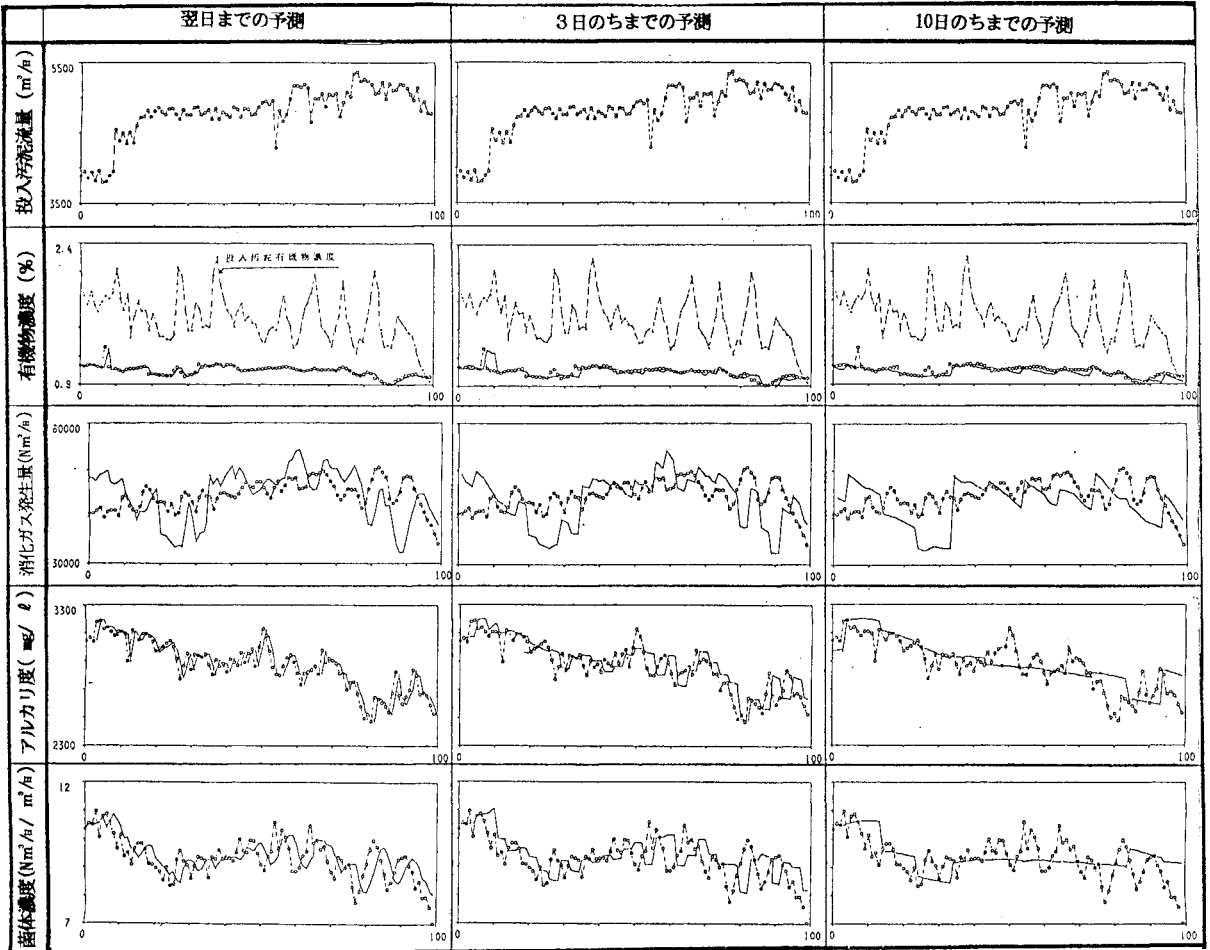


図-3 消化プロセスモデル



入出力変数			システム定数			
記号	項目	単位	記号	項目	単位	数値
Q	投入汚泥流量	m ³ /day	V	消化槽容積	m ³	34500
Lin	投入汚泥有機物濃度	kg/kg	V _R	ガスタンク有効容	m ³	—
AL·Kin	投入汚泥アルカリ度	mg/ℓ	V _{Rmax}	ガスタンク容積	m ³	4800
HXin	投入汚泥有機酸濃度	mg/ℓ	Y _{s-L}	有機物-微生物収率定数	Nm ³ /ton	1010
θin	投入汚泥温度	℃	Y _{G-L}	有機物-消化ガス収率定数	Nm ³ /ton	1010
Gh	加温用消化ガス量	Nm ³ /day	YAL·K/L	有機物-アルカリ度換算定数	mg/ℓ/kg/kg	1.89 × 10 ⁶
Geh	有効加温用消化ガス流量	Nm ³ /day	YAL·K/HX	有機酸-アルカリ度換算定数	mg/ℓ/mg/ℓ	0.543
Lout	消化汚泥有機物濃度	kg/kg	K	有機物除去定数	ton/Nm ³ ·日	3.22 × 10 ⁻²
AL·Kout	消化汚泥アルカリ度	mg/ℓ	Lo	除去不能有機物濃度	kg/kg	6.97 × 10 ⁻³
HXout	消化汚泥有機酸濃度	mg/ℓ	AL·Ko	pH-アルカリ度換算定数	—	3.97
θout	消化汚泥温度	℃	γ	メタンガス含水率	%	62
Sout	消化汚泥微生物濃度	Nm ³ /Nm ³	Cmg	メタンガス発生熱量	Kcal/Nm ³	8550
PHout	消化汚泥pH	—	η	ボイラー効率	%	73
Gout	消化ガス発生量	Nm ³ /day	Hm	熱交換機よりの供給熱量	Kcal/day	—
Geout	余剰消化ガス量	Nm ³ /day	—	—	—	—

図-4 シミュレータの予測精度



注) 実線はシミュレーション値、破線は実測値を示す。

表-1 シミュレータの予測精度表

	平均値		翌日までの誤差		3日のちまでの誤差		5日のちまでの誤差		7日のちまでの誤差		10日のちまでの誤差	
			平均誤差	最大誤差	平均誤差	最大誤差	平均誤差	最大誤差	平均誤差	最大誤差	平均誤差	最大誤差
有機物濃度	1.05	(%V)	0.34 %	17.98 %	0.47 %	18.3 %	0.39 %	17.1 %	0.48 %	17.1 %	0.40 %	17.1 %
ガス発生量	44,632	(Nm ³ /日)	1.25	32.9	1.73	33.2	1.38	33.2	1.39	33.6	1.15	26.7
アルカリ度	2,782	(mg/ℓ)	0.27	7.20	0.34	9.95	0.34	8.57	0.38	12.1	0.40	12.6
pH	7.49		0.14	4.43	0.14	4.43	0.14	4.36	0.14	4.43	0.14	4.36
菌体濃度	9.32	(Nm ³ /日/m ³ /日)	0.64	17.2	0.75	18.8	0.87	20.8	0.75	28.1	0.72	30.4

(2) 投入汚泥量決定の支援

1) 最適化アルゴリズムによる支援

消化槽の投入汚泥量に対する除去有機物量、および発生した消化ガスの持つ有効熱量から加温に要する熱量を減じた余剰熱量の計算例を図-5に示す。

同図が示すように、除去有機物量を最大とする投入汚泥量と、余剰熱量を最大とする、投入汚泥量は異なる。そこで、両者を加味した最適投入汚泥量を算定するため、消化効率として、発生した消化ガスが持つ有効熱量を H_m (kCal/日) とし、熱効率として余剰熱量を H_r (kCal/日) とすると、評価関数 J は次式で表わされる。

$$J = w \cdot H_m + (1 - w) \cdot H_r$$

ここで、 w は重み係数であり、例えば、 $w = 1$ であるならば有効熱量最大すなわち消化効率最大となり、 $w = 0$ ならば余剰熱量最大となることから熱効率最大となる。このため、定めた重み係数 w に対して最適な投入汚泥量 Q^* は図-6に示した計算手順により支援される。

2) プロセスシミュレータによる支援

本支援は、投入汚泥の濃度および温度の予測入力値に対して適切な投入汚泥量の決定をを補佐するため、前述したプロセスシミュレータを利用して投入汚泥量を変化させ、今後予測されるプロセス値の5日間平均値を図示し、さらに、オペレータの規定する運転条件下で投入可能な汚泥量を指示するものである。

一例として、次の条件下で受けた支援を図-7

に示す。

- 投入汚泥量範囲 3,000 m³/日 ≤ Q ≤ 5,000 m³/日
- 消化ガス倍率 7倍 以上
- 消化槽温度 46℃ 以上
- 消化汚泥有機物濃度 1% 以上
- 除去有機物量 20 t/日 以上
- 余剰ガス量 2,000 Nm³/日 以上

同図が示すように、投入可能な汚泥量は投入汚泥量下限値と余剰ガス量下限値で規制され、3,000 m³/日以上 4,100 m³/日以下と支援(指示)される。

図-5 投入汚泥流量と除去有機物量、余剰熱量の計算例

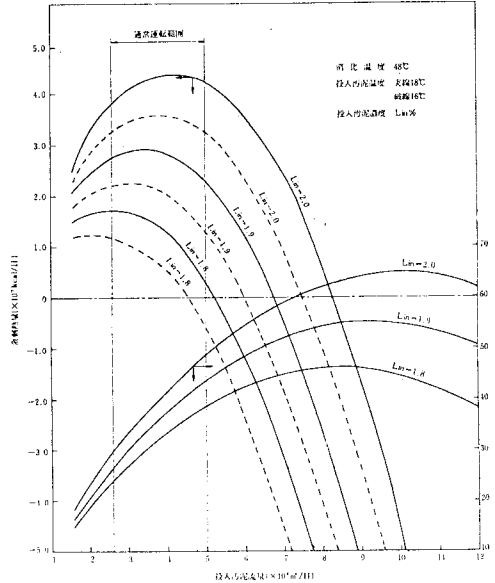


図-6 最適計画投入汚泥流量の計算手順

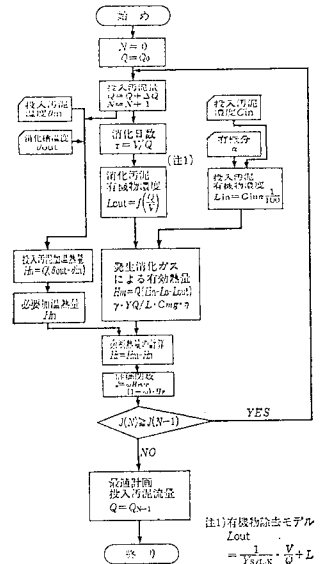
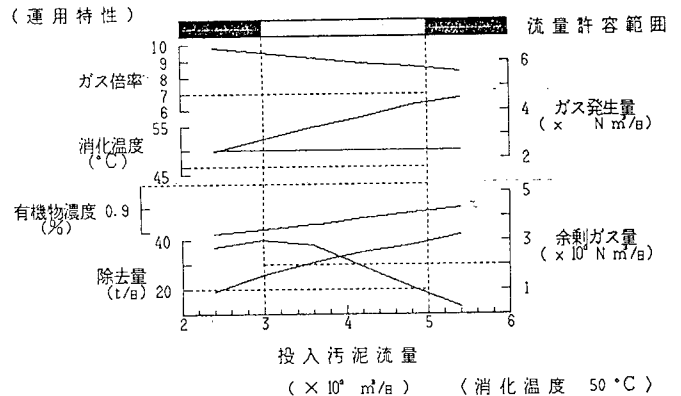


図-7 運用特性評価図



3. 本システム適用の効果

本システム適用の効果を検討するため、東京都森ヶ崎処理場における昭和56年6月15日から50日間（この期間は、投入汚泥の有機物濃度が低下して、投入汚泥量の選定が調査期間中で最も困難であった）の実データを用いて、従来の運転手法である消化日数一定のケースと本システムを適用したケースについてシミュレーションを行った。

(1) 従来の運用法による場合

前記の状態において、消化日数一定（消化日数10日＝投入汚泥量 $4,600\text{m}^3/\text{日}$ ）の運転を行った場合の結果を図-8、ケースAに示す。

図から、11日目以降は余剰ガスの発生が止まり、そのため消化温度は低下しはじめ、46日目には 46°C 台まで低下している。加えて、菌体の流出をも招き、アルカリ度も $2,200\text{mg}/\ell$ 台までに低下していることから、消化状態の不調をまねくことが予想される。

(2) 本システムを適用した場合

施設の運用に際し、次の事項の保持を目標とした。

- ・余剰ガスは常時確保する。（原則）
- ・汚泥処理量はできるだけ多くする。
- ・消化温度の低下は最小限に留める。
- ・菌体の流出はできるかぎり抑制する。
- ・アルカリ度は $2,700\text{mg}/\ell$ 以上に維持する。

オペレータは、運用評価図（図-7）により、運転目標に照らして適切な投入汚泥量と消化温度を選択し今後のプロセスの挙動を予測監視画面で確認することにより、最適な設定値を決定した。

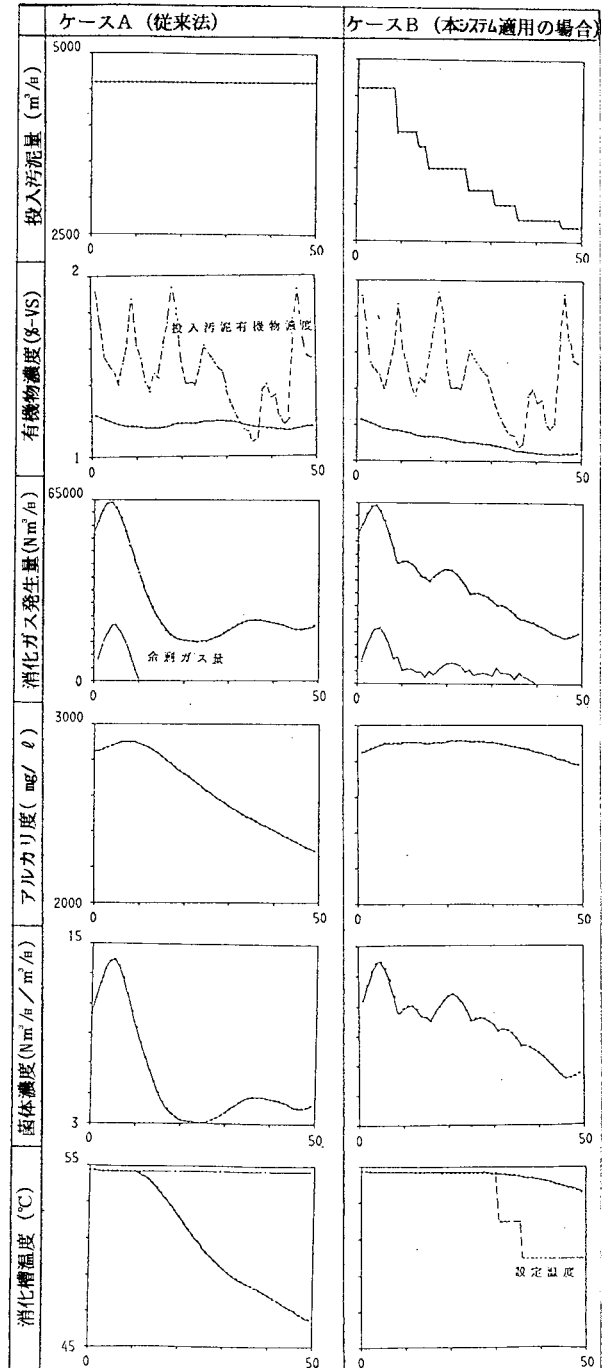
結果を図-8、ケースBに示す。当初、投入汚泥量は前日に引続き $4,600\text{m}^3/\text{日}$ で運転されているが、本システムの活用により、汚泥量を減少させて行き、さらに、消化温度設定値を下げるにより、運転目標を実現し、良好な消化状態を維持している。

4. おわりに

以上の検討から、本システムを利用することにより、理想的なマン-マシンシステムが実現でき、オペレータの持つ経験則をも活用できるため、真に、汚泥消化プロセスの効率的運用が可能となるものと思われる。

今後、このシステムを消化の異常状態においても支援できるように、改善して行こうと考えている。

図-8 従来の運用法と本システム適用の場合の比較



注) 実線はシミュレーション値、破線は実測値を示す。

<参考文献>

- 1) 斎藤 ; 動力学モデルによる消化プロセス制御手法の検討 (月刊下水道 Vol.7, No.5)