

下水の高度処理プロセスと新技術の応用

Newly Developed Technology Applied to Advanced Wastewater Treatment Process

下水道設備の普及につれて、下水道設備の見直しや改良が進められるとともに、閉鎖水域などの環境浄化のため、高度処理プロセスの開発も急務である。

本稿では日立グループ各社の開発した高度処理プロセスのうち、SS除去目的の日立ロバーツ汙過プロセス並びに色度、殺菌など多機能目的のオゾン酸化プロセス、及び新たな廃水処理技術であるディープシャフトプロセスの下水への応用について述べる。

下水の高度処理プロセスは既に実用化の段階にあり、環境保全の必要性からも今後ますます普及する見通しである。また、省エネルギー、省力化の面から既設下水処理設備の見直しと新技術の開発が期待される。

藤原功一* Kôichi Fujiwara

安達哲郎** Tetsurô Adachi

古賀鉄弘*** Tetsuhiro Koga

白井正明**** Masaaki Shirai

1 緒 言

第4次下水道整備5箇年計画の最終年度である昭和55年は、計画の完全達成に向けて関係者の努力が続けられている。また、昭和60年までに下水道人口普及率55%とする新経済社会7箇年計画も策定されており、更に7箇年計画の中では、水質総量規制に対応した閉鎖水域の整備が図られている。これらの目標を達成するために、下水道設備の普及とともに設備の見直しや改良と、新たな設備の追加が行なわれている¹⁾。

また、河川などの水質環境基準の達成と、閉鎖水域の富栄養化防止の下水高度処理技術の確立、普及が急務となっている。本稿では、日立グループ各社が開発を進めた下水の高度処理プロセスのうち、米国ロバーツフィルタ社と技術提携した日立ロバーツ汙過プロセスと日立が開発したオゾン酸化プロセス及び英国ICI社と技術提携した日立ディープシャフトプロセスについて述べる。

2 日立ロバーツ汙過プロセス

近年、下水処理場で使用されるポンプシール水、脱水機汙布洗浄水、凝集剤希釈水、機器冷却水など場内使用水には、主として砂汙過処理水が使用され始めている。また、水質環境基準達成のため、高度処理として砂汙過プロセスを採用する下水処理場も漸増している。

砂汙過プロセスについて、昭和52年6月から千葉県下のある処理場で汙過速度の高速化が図られ、汙過運転時間の長い複層式汙床を採用した日立ロバーツ汙過プロセスの特性把握を行なったので報告する。

2.1 プロセスフロー及び仕様

図1にプロセスフローを、表1に特性把握を行なったプロセス仕様を示す。日立ロバーツ砂汙過が通常の砂汙過と異なる点は、汙床の洗浄方式に表面洗浄と逆流洗浄(以下、逆洗と呼ぶ。)を併用し、更に洗浄水量の少ないエゼクタ回転式表面洗浄を採用することにより効果的な洗浄ができることである。また回転方法も動力を使用しないで圧力水の反力を利用する省エネルギー形である。

2.2 プロセス運転特性

日立ロバーツ汙過システムの運転特性は、次に述べるとおりである。

(1) 稼動初期における処理特性

汙過速度200m/dで稼動した初期のSS(懸濁物質)処理特性を図2に、また、同時に測定したCOD(化学的酸素要求量)処理特性を図3に示す。

稼動初期でのSS除去特性は、浄水場で使用されている緩速汙過方式と異なり、目標水質SS 5 mg/lが運転当初から得ら

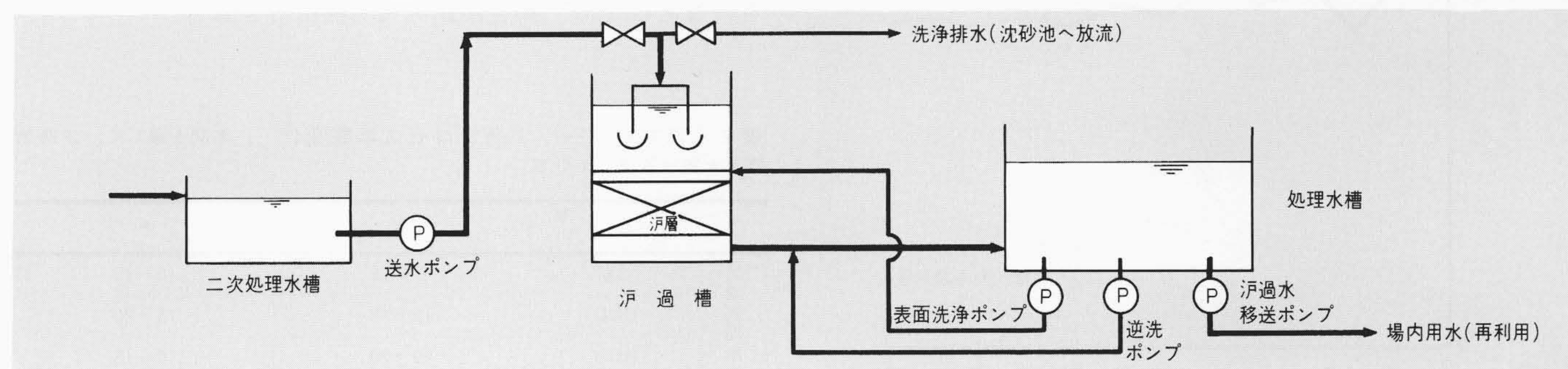


図1 日立ロバーツ汙過プロセスフロー 表面洗浄ポンプ、逆洗ポンプによる洗浄は自動化されている。

* 日立製作所機電事業本部

** 日立製作所日立研究所

*** 日立金属株式会社

**** 日立プラント建設株式会社

表1 日立ロバーツ汙過プロセス仕様 プロセス能力は、汙過速度200m/dの場合を示す。

項 目	主 仕 様
汙 過 方 式	重力式下向流
汙過槽寸法×基数	幅1.6×長さ1.9×高さ5(m)×1基
汙 過 層	アンスラサイト、ケイ砂の複層
洗 浄 操 作	表面洗浄、逆流洗浄の併用
処 理 能 力	600m ³ /d
目 標 水 質	
SS	1～5 mg/l
COD	10～15mg/l
BOD	7～10mg/l

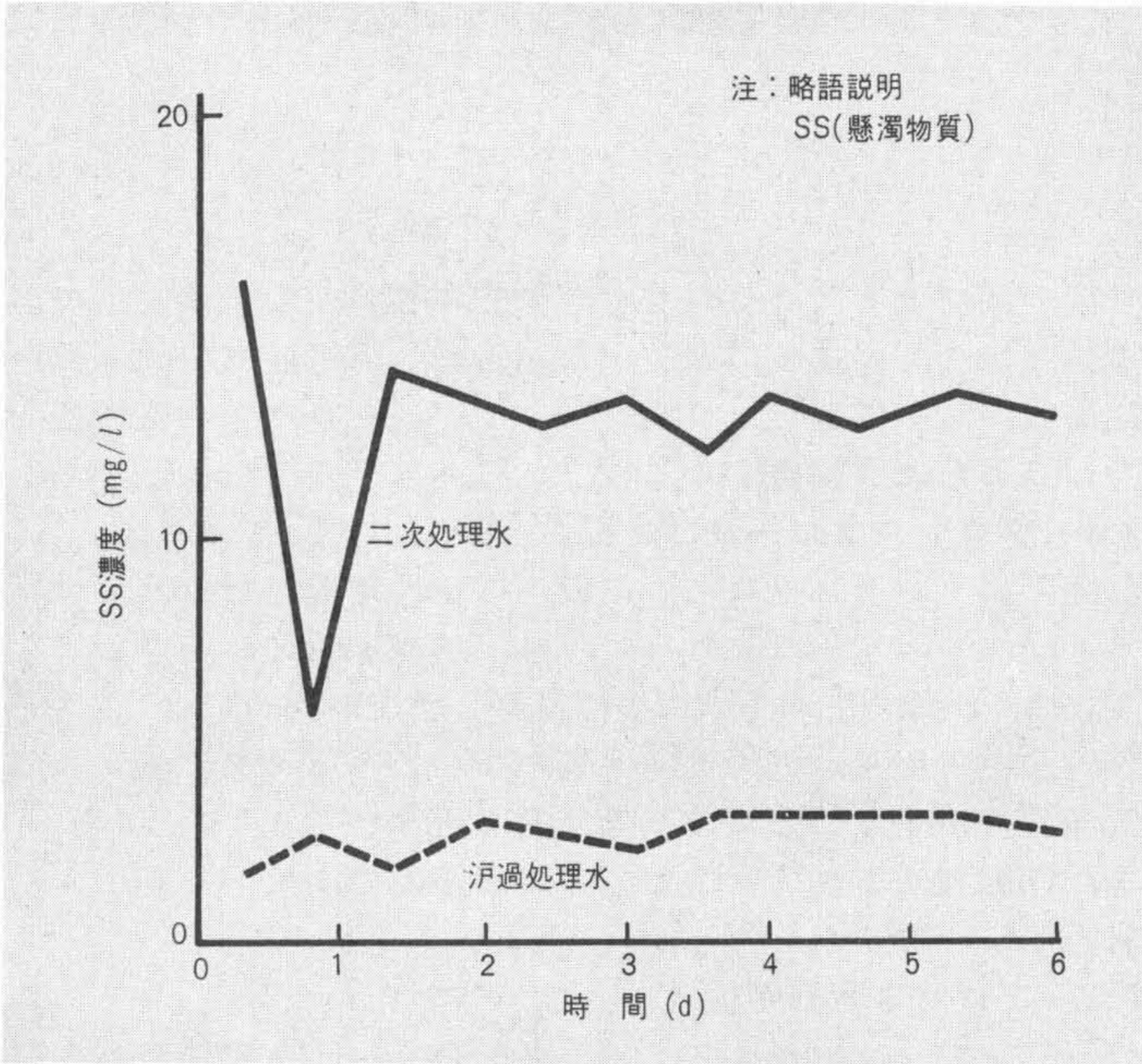


図2 日立ロバーツ汙過プロセスSS除去特性 汙過速度200m/dで稼動したSSの特性である。運転初期から安定した処理水が得られている。

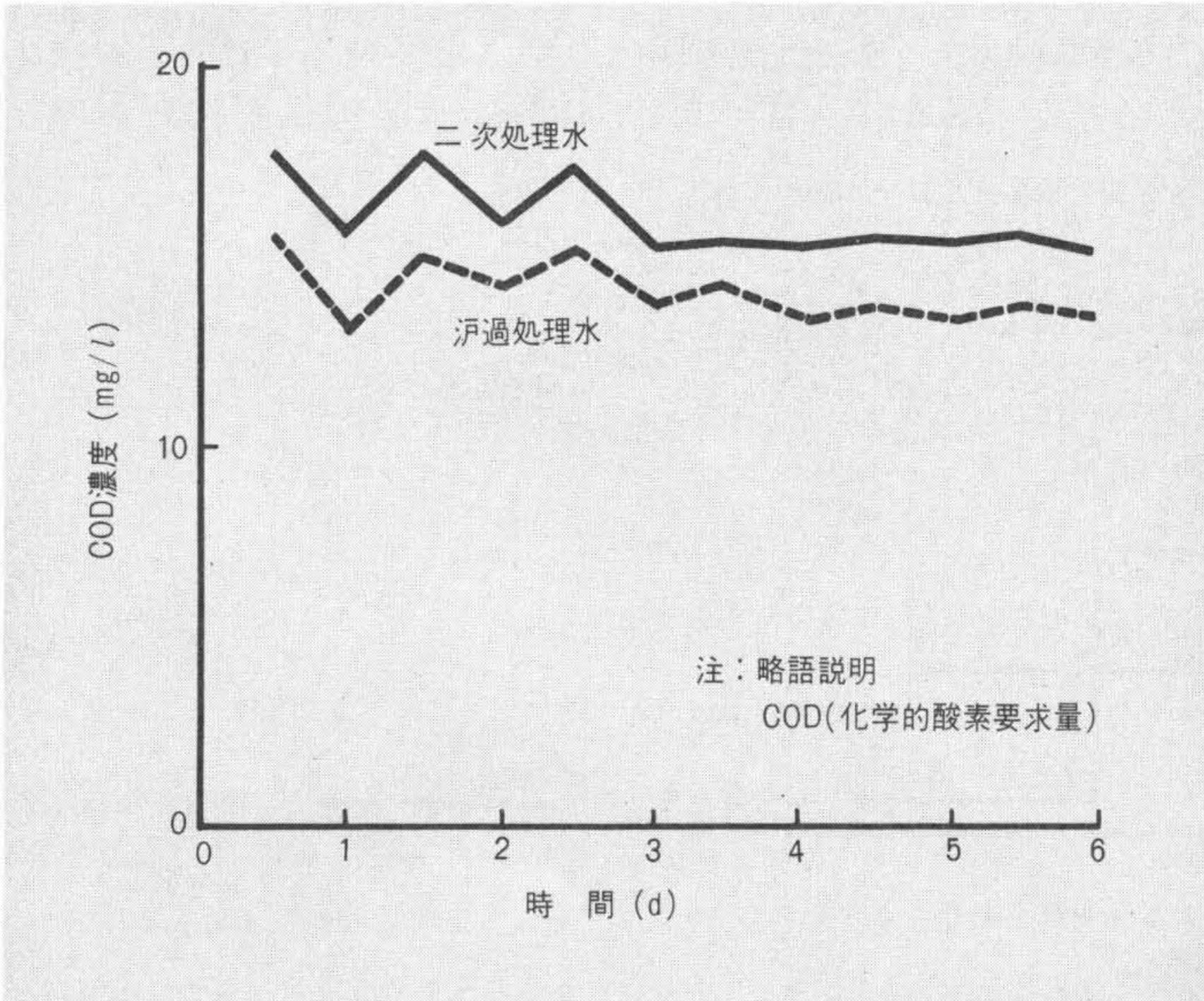


図3 日立ロバーツ汙過プロセスCOD除去特性 汙過速度200m/dで稼動したCODの特性である。COD除去が汙過でも得られる。

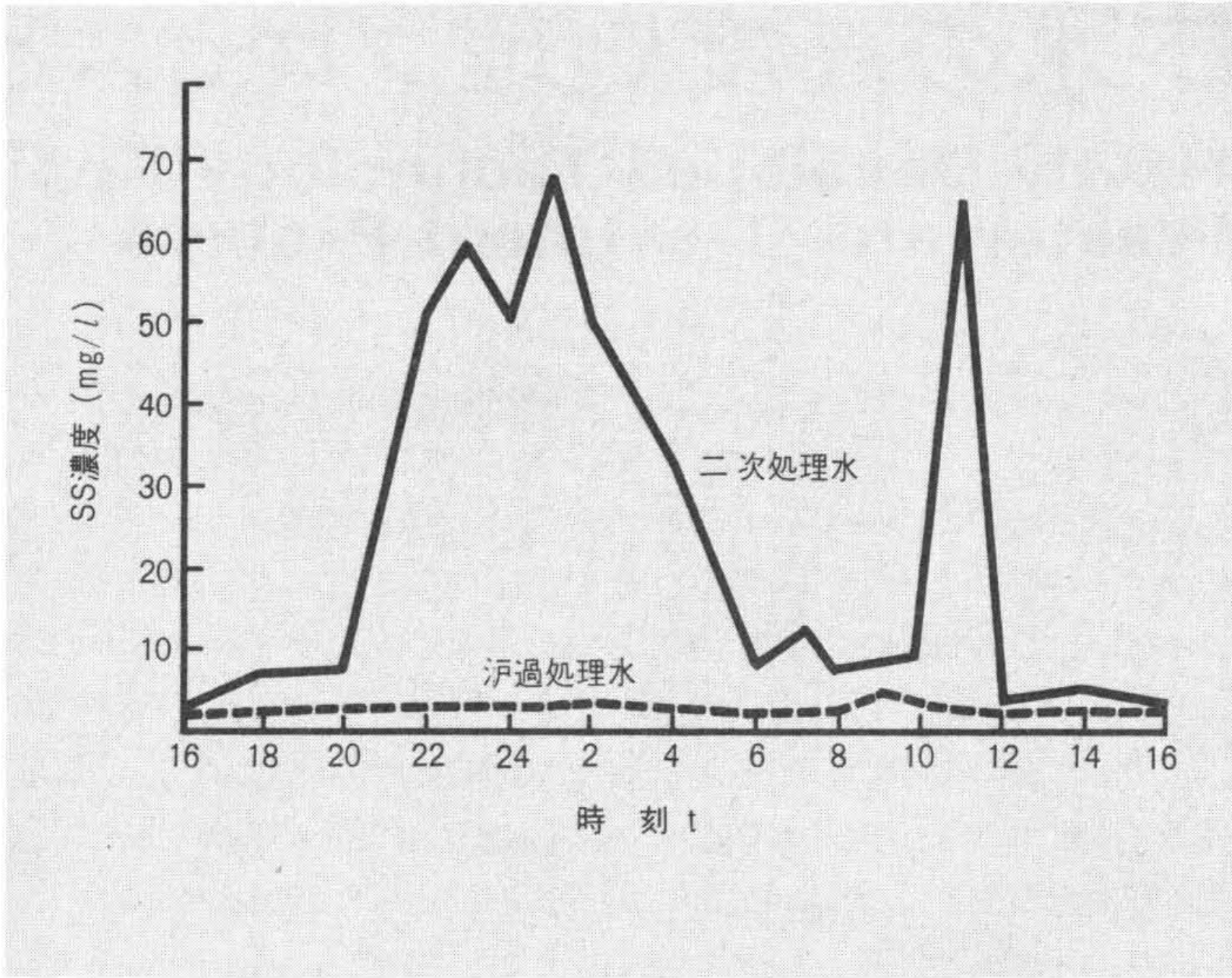


図4 日立ロバーツ汙過プロセスSS日間変化 二次処理水質が大きく変動した場合でも、処理水質SS 5 mg/l以下となっている。

れた。
一方、BOD(生物化学的酸素要求量)は、二次処理水BOD 10～20mg/lに対し、汙過水BOD 7～10mg/lであり、CODよりも良い特性を示している。

(2) 日間変動に対する処理特性

下水処理場への流入水質、水量は時間とともに大きく変動するが、二次処理水質の変動は比較的小さい。しかし、何らかの異常により変動することがあるので、図4に二次処理水質が大きく変動した場合の砂汙過特性を示す。同図で処理水質SSが5 mg/l以下に安定していることは、日立ロバーツ汙過プロセスがSSに対し緩衝機能をもっていることを示している。したがって、負荷変動が大きい場合、処理水質安定のために日立ロバーツ汙過プロセスは有効である。

(3) 年間を通しての処理特性

年間を通しての処理水質は、表2に示すとおり夏季、冬季を問わず表1の目標水質を達成することが分かった。

(4) 汙過速度の制御

浄水場の場合、定速汙過が主流であるが、下水高度処理の場合コスト低減と維持管理の容易さの点で減衰汙過方式が望まれる。図5に汙過速度が時間の経過につれて減少する状況を示す。運転は24時間洗浄操作を行わずに実施した。二次処理水のSSが20～30mg/lであれば汙過速度の時間に対する減少は少なく、設定速度200m/dの場合12～24時間に1回洗浄を行えばよく、減衰汙過方式を採用できる。

表2 日立ロバーツ汙過プロセス年間変化 年間を通して、汙過処理水水質は安定している。

季		夏	冬
二次処理水	SS	6～16	10～15
	COD	15～38	15～20
	BOD	10～20	10～15
汙過処理水	SS	1～2	1～2
	COD	12～15	14～15
	BOD	6～10	6～10

注：単位(mg/l)

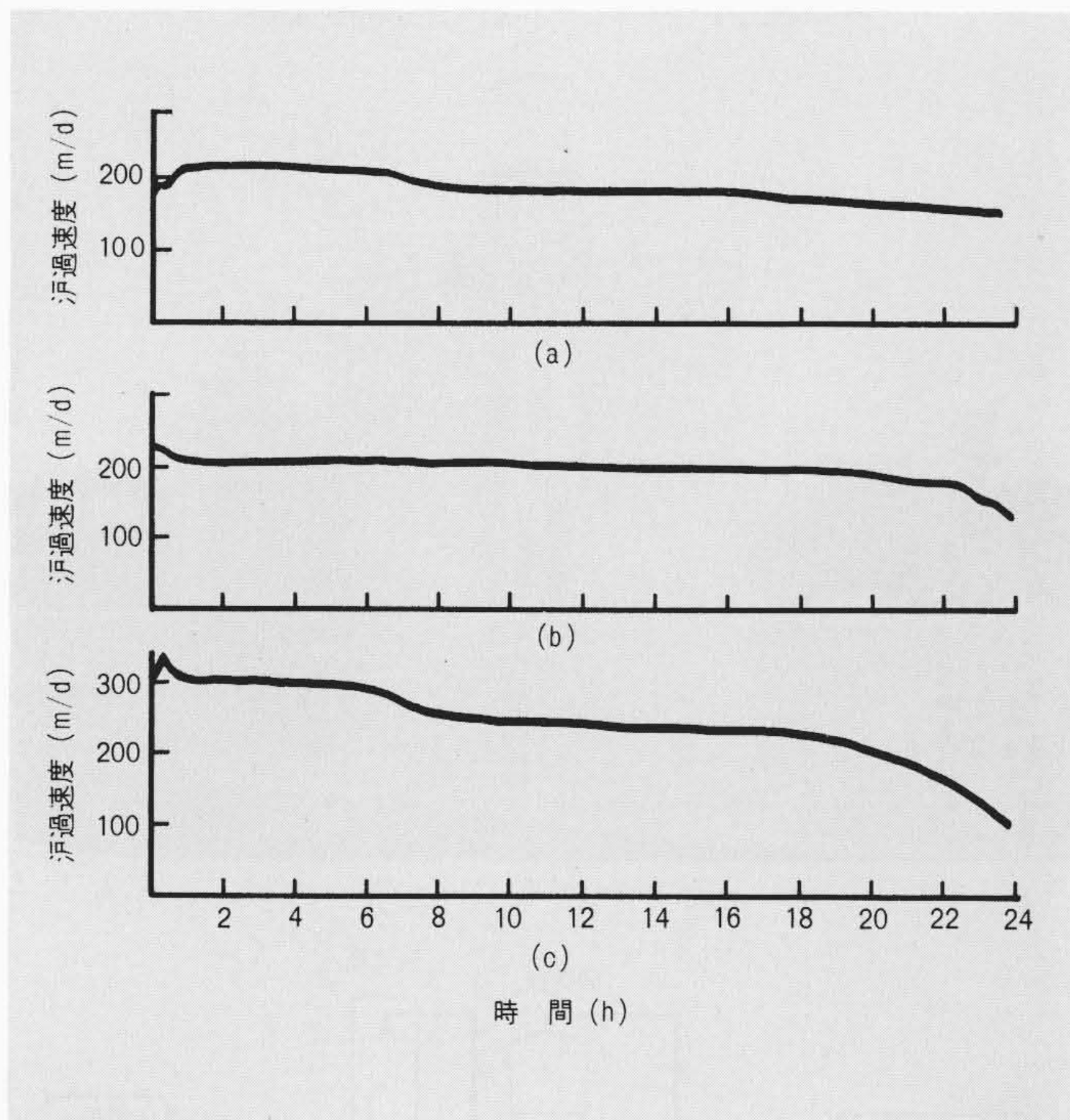


図5 日立ロバーツ汙過プロセス汙過速度 二次処理水SS20～30 mg/lでの汙過速度である。(a)、(b)は設定速度200m/d、(c)は300m/dである。

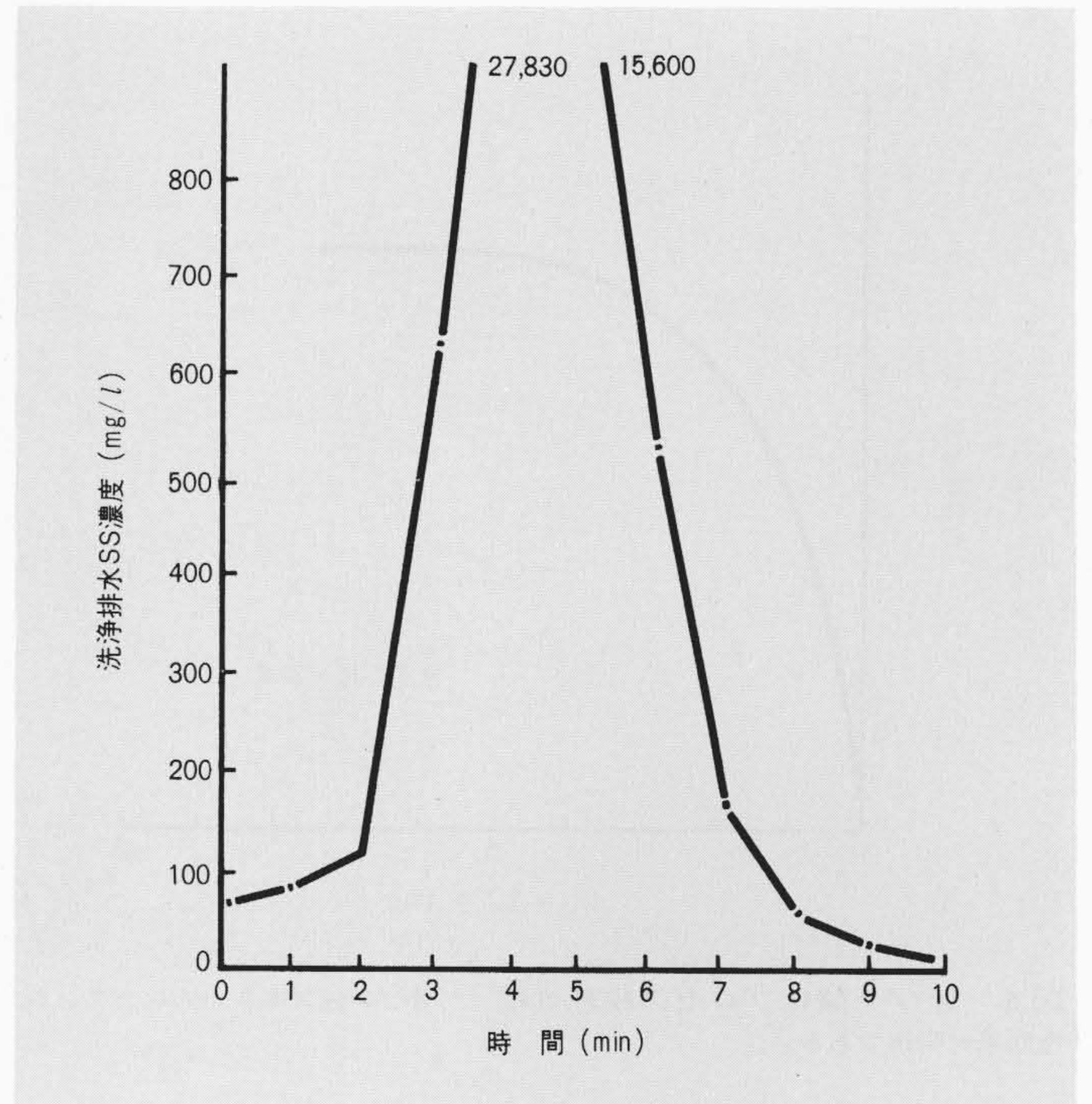


図6 日立ロバーツ汙過プロセス洗浄排水 洗浄時間はできるだけ短いことが望ましい。

(5) 洗浄時間

洗浄操作は短時間に多量の洗浄排水を生ずるので、処理系統の急激な負荷増大となり、二次処理水質に影響を与えることがある。洗浄時間を短縮すれば、洗浄排水量＝洗浄速度×汙過面積×洗浄時間の関係から排水量を軽減することができる。洗浄停止の決定は、洗浄排水のSS濃度が二次処理水程度になるまでの時間を採用する。図6に洗浄操作中の洗浄排水SS濃度を示すが、洗浄完了時間は約10分と短い。

以上述べたように、日立ロバーツ汙過プロセスは多くの特長をもっており、今後の下水の高度処理プロセスの普及に役立つと考える。

3 オゾン酸化プロセス

オゾンは強い酸化力により、殺菌、脱色、脱臭、COD除去、SS除去などの多機能性をもっていることが知られており、古くからヨーロッパでは浄水場の殺菌に使用されてきた²⁾。しかし、処理コストが高いことから、水処理技術として広く普及するには至らなかった。しかし、最近、塩素殺菌による有機塩素化合物の生成が問題となり³⁾、オゾンの利用が見直されている。一方、オゾン発生機や周辺機器の性能向上により、オゾン処理コストも従来に比べてかなり安価になりつつある。環境保全や水資源の有効利用の上で、簡易な高度水処理技術の開発が強く要望されている現在、オゾンのもつ多機能性が注目される。

3.1 オゾン酸化プロセスの特性

下水二次処理水の再利用を目的として、下水二次処理水をオゾン処理した場合の処理性能を図7～10に示す。性能把握は、高さ3.5m、内径100mmのオゾン酸化塔を使用して連続向流接触で行なった。その結果、低いオゾン注入率で良好な処理性能が得られることが分かる。下水二次処理水の水質に応じて適当な前処理、又は後処理を行なうことにより、広い範囲で利用可能な用水を得ることができる。

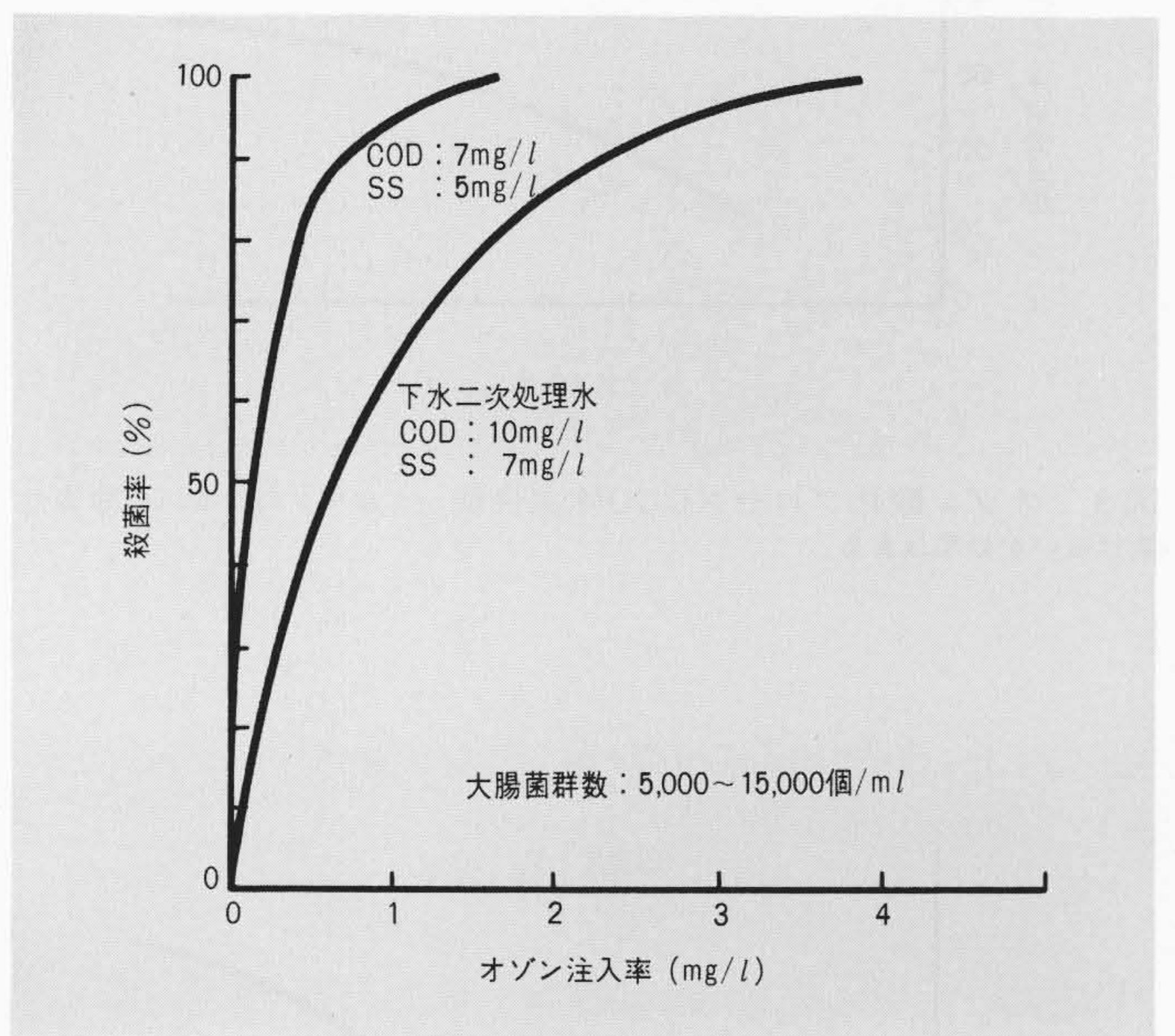


図7 オゾン酸化プロセス殺菌性能 下水二次処理水水質により、オゾン注入率に対する殺菌率が異なる。

3.2 オゾンを利用した下水再利用システム

日立グループ各社では、このような基礎研究を基にオゾンを利用した下水再利用システムの開発を進めてきた。今回、本システムが福岡市中部下水処理場及び日立市池の川下水処理場で相次いで実用化された。福岡市(処理量200m³/d)の場合は、市民センターのトイレ用水、ポンプ場の冷却水として、また、日立市(2,000m³/d)の場合は、公園用水としてそれぞれ給水される。日立市の下水再利用化システムの処理フロー及びプラント外観を図11に示す。下水二次処理水は、砂汙過によってSSを除去した後、オゾン酸化塔で脱色、COD除去及

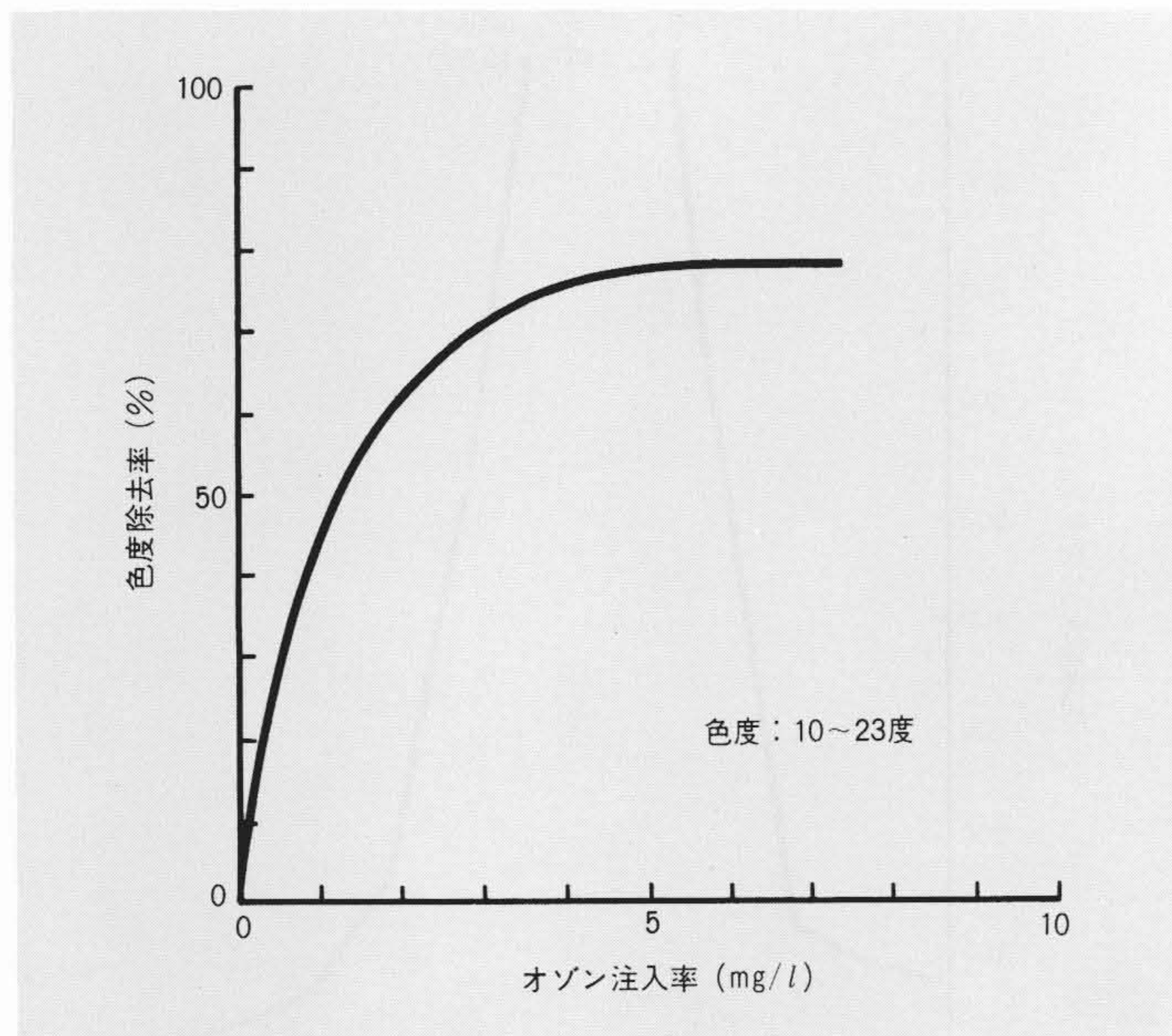


図8 オゾン酸化プロセス脱色性能 オゾン注入率 3 mg/l以上で、脱色効果が明確である。

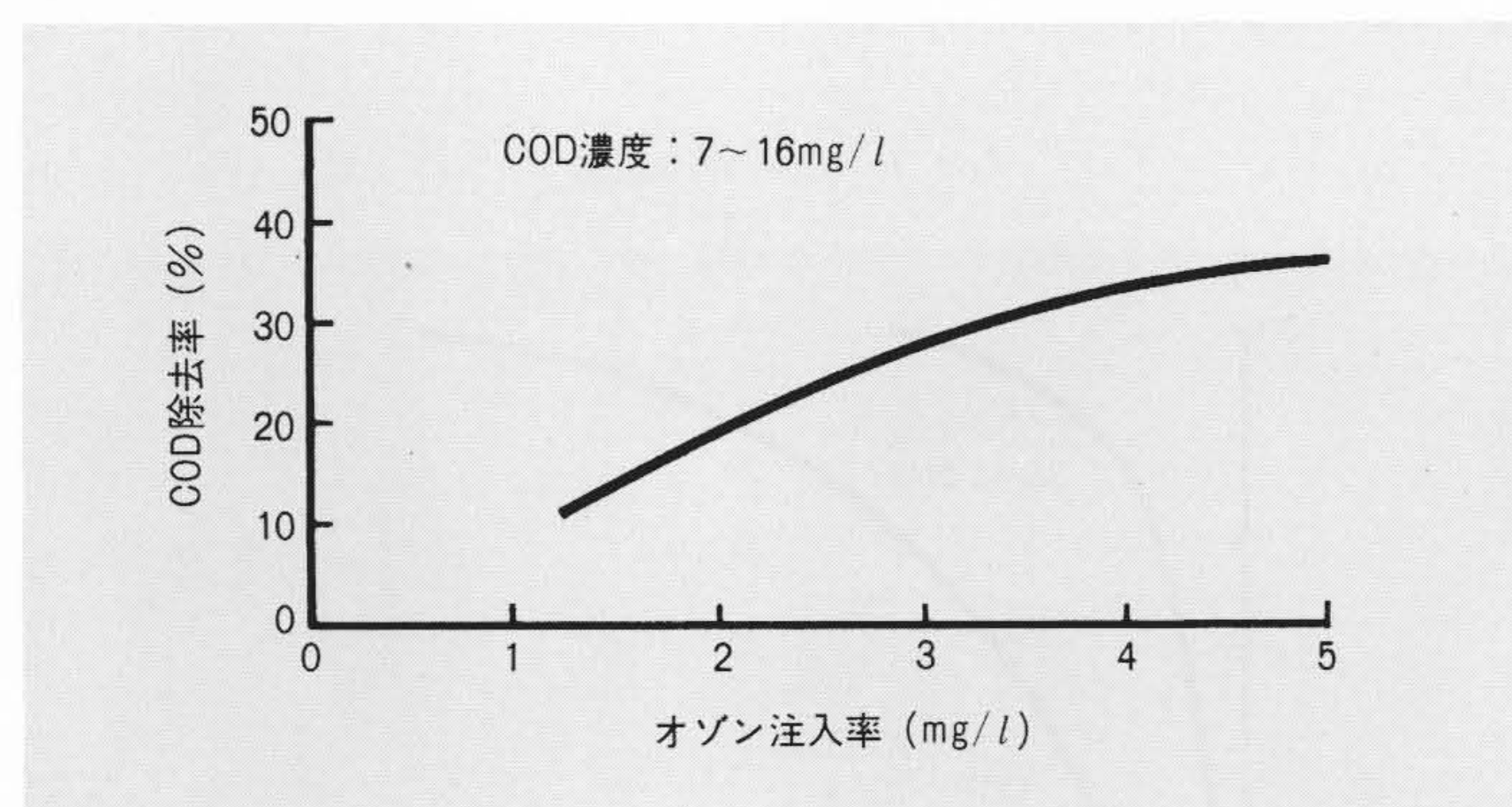


図9 オゾン酸化プロセスCOD除去性能 オゾンによるCOD除去性能は低いが効果はある。

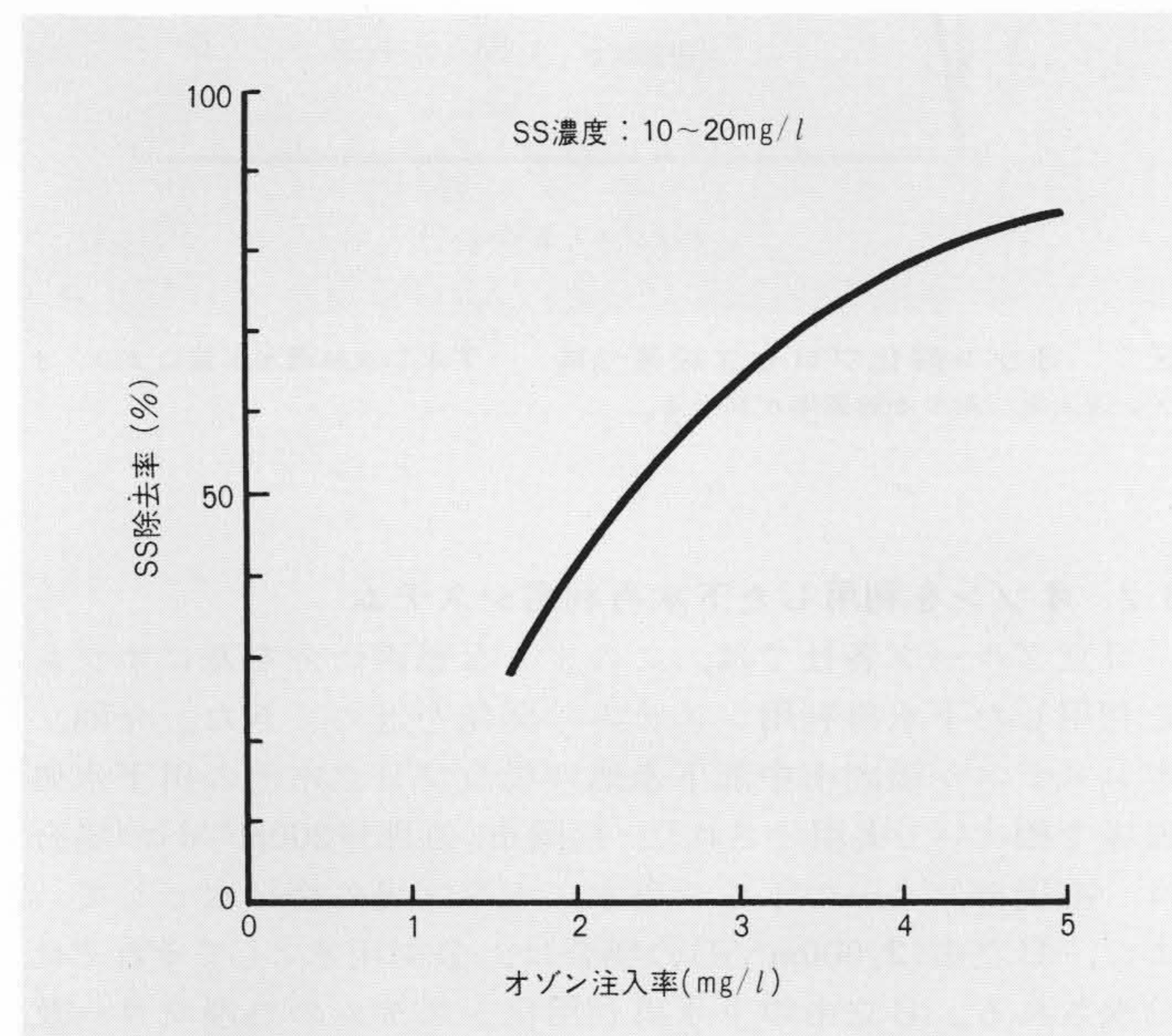


図10 オゾン酸化プロセスSS除去性能 オゾンはSS除去性能があり、注入率 3 mg/l以上で効果がある。

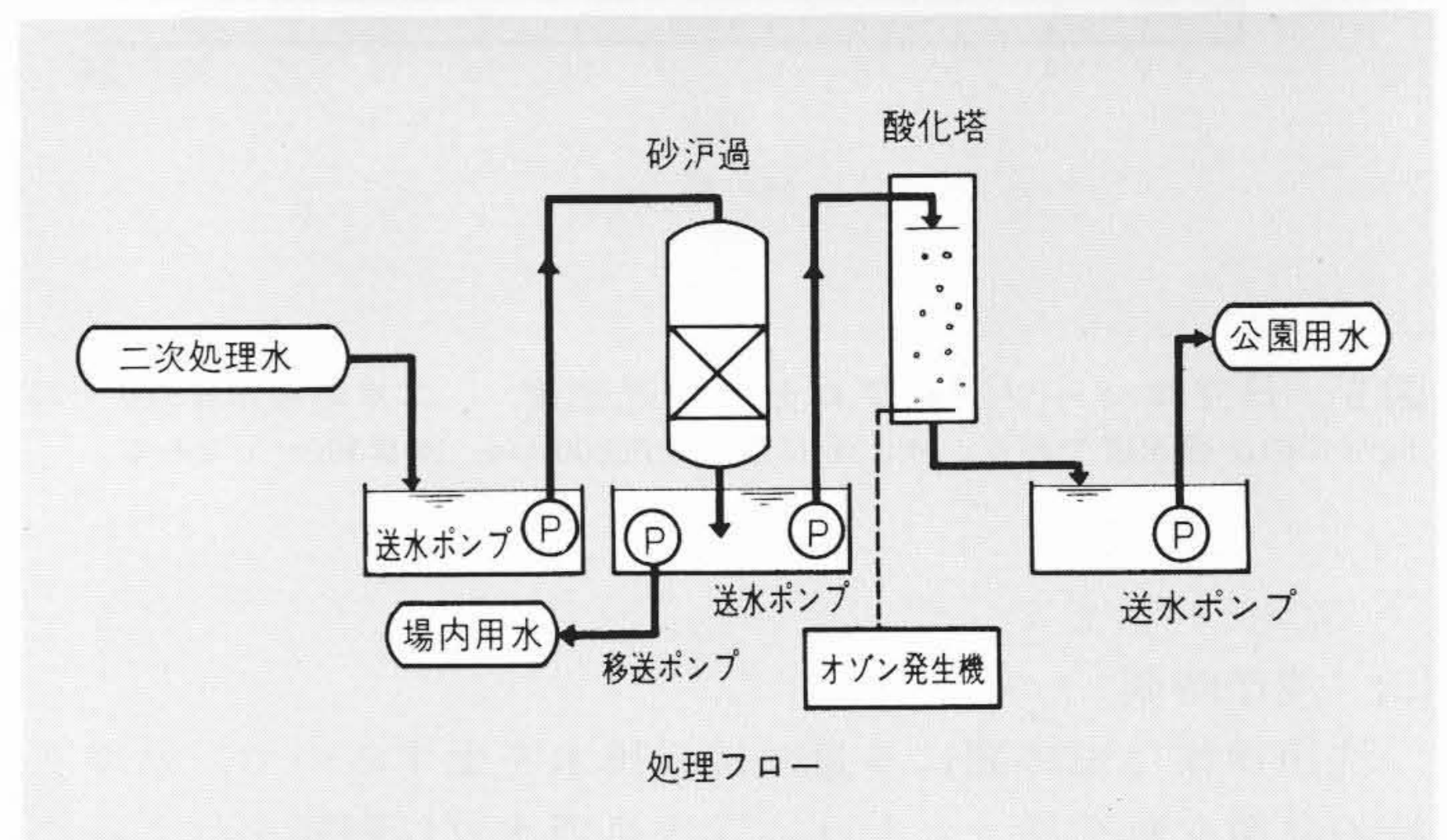
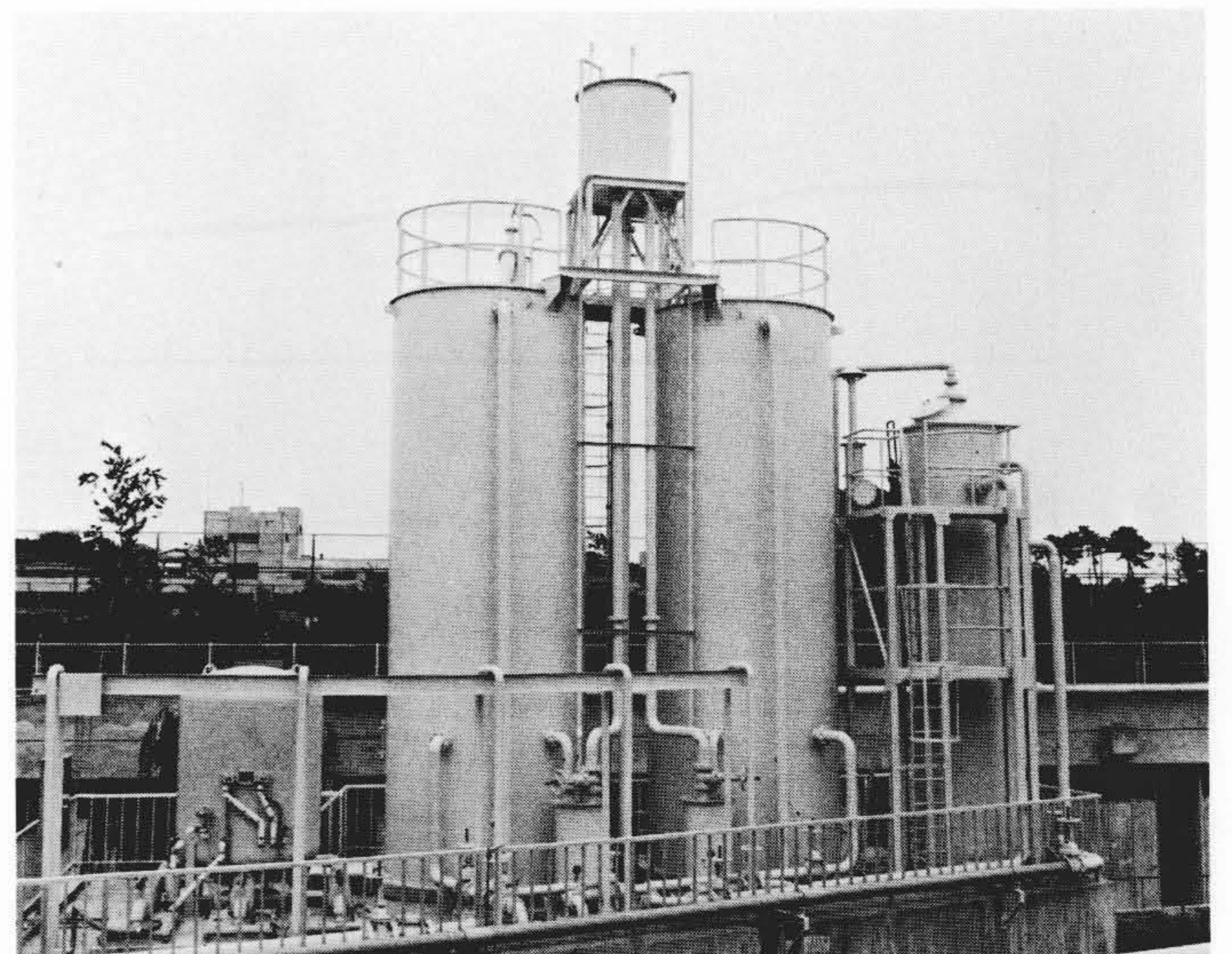


図11 日立市池の川処理場向けオゾン酸化プロセスフローと外観 砂汙過後、オゾンにより酸化する。オゾン酸化処理水は、公園用水に使用される。

び殺菌を行なう。

このような下水処理場でのオゾン酸化プロセス適用は我が国では最初であり、今後の普及が期待される。

4 日立ディープシャフトプロセス

下水処理場で採用されている活性汚泥法の問題点としては、広大な敷地と多大な運転経費を必要とすることが挙げられる。土地事情、エネルギー事情の点から、これらの問題点の解決は、今後の下水道整備事業の推進に対する緊急かつ重要な課題と考えられる。

日立ディープシャフトプロセスは、これらの問題点に対処できるものである。本プロセスは直径1～6m、深さ50～150mの円筒形の縦穴式曝気槽を中心に構成されている。

4.1 プロセスフロー

下水処理での日立ディープシャフトプロセスフローを図12に示す。下水は、沈砂池で除砂された後、直接ディープシャフトに送られる。ディープシャフトは二重管構造になっており、下水は上昇管と下降管の間を供給空気とともに循環する。液の循環は、水圧の変化による空気泡体積の変化を利用している。曝気槽からの流出水は真空下で脱気し、沈殿池で汚泥を分離後、放流される。

4.2 液循環の仕組み

ディープシャフト内の液循環方法を図13に示す。最初に、上昇管に空気を吹き込むと、エアリフト効果により液の循環

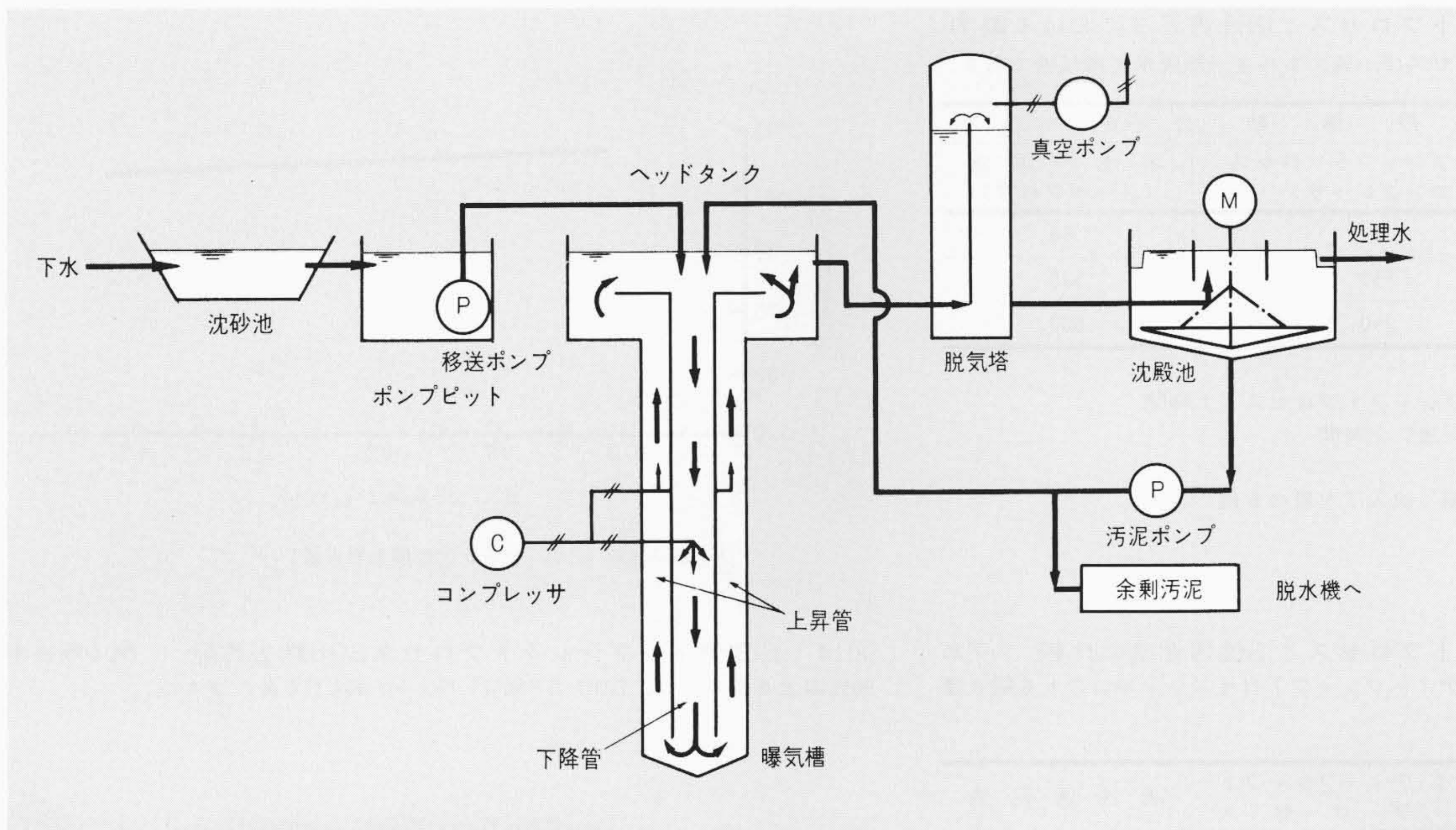


図12 日立ディープシャフトプロセスフロー
曝気槽は直径1～6m、深さ50～150mの円筒縦穴である。曝気槽からの流出水は真空下で脱気し、沈殿池で汚泥を分離する。

が始まる。循環流の流速が $1\sim 2\text{m/s}$ で安定した時点で下降管に空気を吹き込むと、空気気泡の上昇速度(約 0.3m/s)よりも循環流速が速いので、気泡は下向流によってディープシャフト底部に運ばれる。静水圧の増大とともに、直径が縮小した

気泡は、底部に達した後、上昇管に入り、逆に直径を増大しながら上昇し、エアリフトの効果を増強させていく。次に上昇管吹込空気量を減少させ、更に、下降管だけの空気吹込みによる定常運転に移行させる。液循環を持続させる力は、上昇管と下降管の空隙率の差により生じ、水圧の変化による気泡体積の変化を利用している。

4.3 プロセスの特長

(1) 用地の大幅な節減

曝気槽の水深を大きくしたことと高負荷運転が可能のため、曝気槽設置スペースは活性汚泥法の約 $\frac{1}{20}$ 以下となる。

(2) 運転コストの低減可能

酸素移動速度が大きく、酸素吸収効率が高いため、酸素利用率は活性汚泥法の5～9倍となるので、表3に示した動力比較から空気吹込みに要する運転コストが半減することが分かる。

(3) 臭気量の減少

日立ディープシャフトプロセスは、活性汚泥法に比べて吹込空気量が約 $\frac{1}{10}\sim\frac{1}{8}$ であることと、開口比が $\frac{1}{20}$ であることなどから、臭気の発生量をごくわずかに抑えることができる。

(4) 気候条件に左右されない。

日立ディープシャフトプロセスは、曝気槽が地中深く打ち込まれているため、気候による温度変化を受けにくく、年間を通じて安定した処理効率を維持できる。

(5) 負荷変動に強い。

ディープシャフトでは、循環水が $1\sim 2\text{m/s}$ で移動しており、原水は流入口で瞬時に20～30倍に混合し希釈されるため、廃水の負荷変動に対して影響が少なく、安定した処理が可能である。

(6) 汚泥発生量が少ない。

常に十分な酸素が供給され、生物は常に活性化した状態に置かれているため、同一BOD負荷では、活性汚泥法と比べて汚泥発生量が少ない。

(7) 高濃度廃水処理にも効果的

溶存酸素濃度が高く、酸素利用率が高いため、MLSS(曝気槽内汚泥濃度)を高く維持することが可能であり、高濃度廃水に適用しても効果的に処理が行なえる。

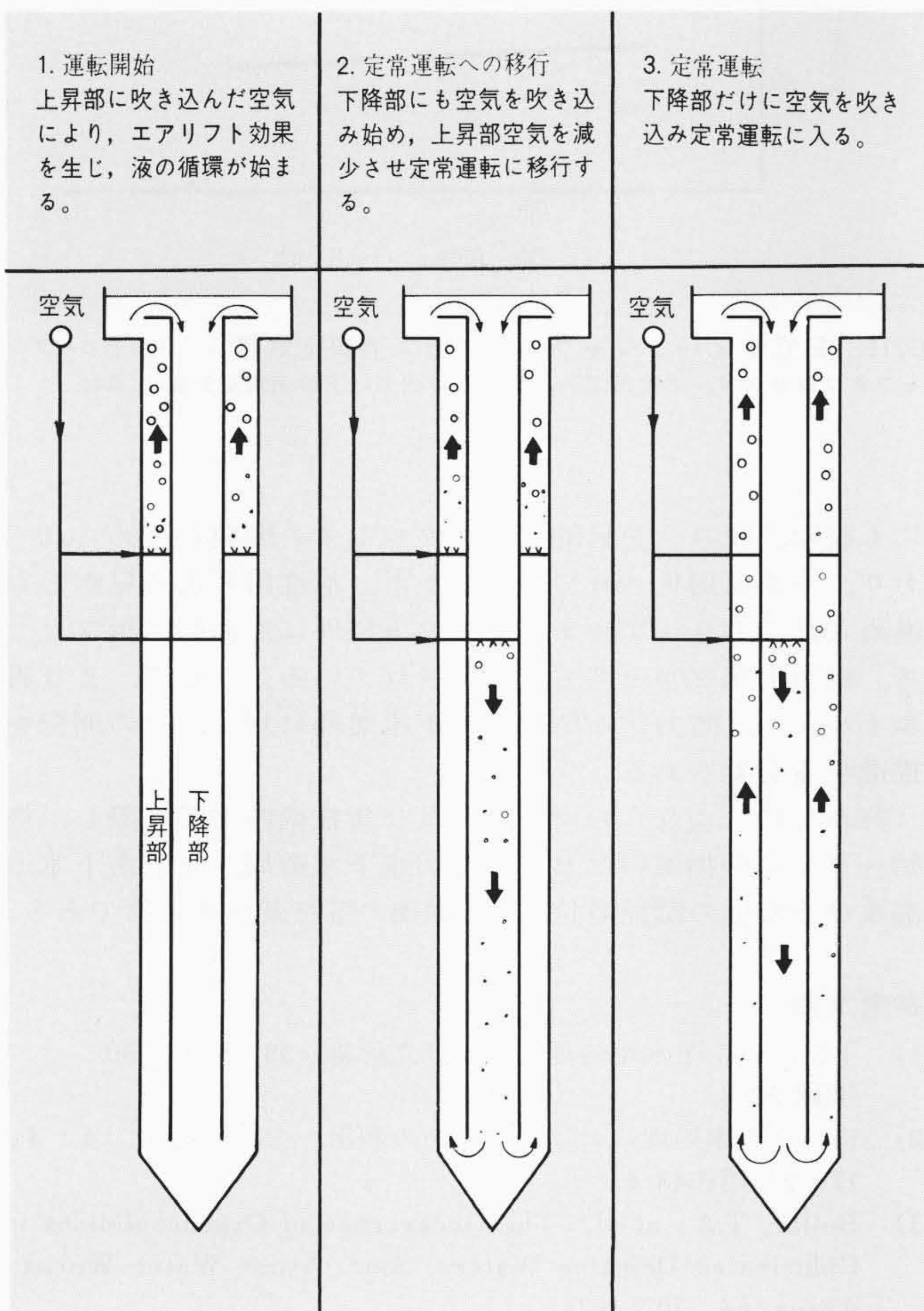


図13 日立ディープシャフト液循環の仕組み
液の上昇部と下降部を設け、エアリフト効果を利用して液循環する。

