

Title	ベトナム・ハノイにおける廃棄物最終処分場浸出水の汚染実態調査ならびに促進酸化による有機物および色度除去法の検討
Author(s)	石垣, 智基; 立田, 真文; Le, Van Chieu 他
Citation	水環境学会誌. 2002, 25(11), p. 629-634
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/3353">https://hdl.handle.net/11094/3353</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## ベトナム・ハノイにおける廃棄物最終処分場浸出水の汚染実態調査 ならびに促進酸化による有機物および色度除去法の検討

石垣 智基\* 立田 真文\*\* Le Van Chieu\*\*\* Cao The Ha† Pham Hung Viet\*\*\*  
 池 道彦†† 藤田 正憲††

### Field Survey and Advanced Oxidation Treatment of Waste Landfill Leachate in Hanoi, Vietnam

Tomonori ISHIGAKI\*, Masafumi TATEDA\*\*, Le Van CHIEU\*\*\*,  
 Cao The HA†, Pham Hung VIET\*\*\*, Michihiko IKE†† and Masanori FUJITA††

\* Research Center for Material Cycles and Waste Management, National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506 Japan

\*\* Dept. of Environ. Tech., College of Technology, Toyama Prefectural Univ., 5180 Kurokawa, Kosugi, Imizu, Toyama 939-0398, Japan

\*\*\* Research Centre for Environmental Technology and Sustainable Development, Hanoi Univ. of Science, Vietnam National Univ., Hanoi, 334, Nguyen Trai Street, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam

† Dept. of Physical Chemistry, Faculty of Chemistry, Hanoi Univ. of Science, Vietnam National Univ., Hanoi, 19 Le Thanh Tong Street, Hanoi, Vietnam

†† Graduate School of Eng., Osaka Univ., 2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

#### Abstract

The quality of leachate collected from waste landfills which received industrial and municipal waste in Hanoi was analyzed in order to obtain information on the current situation of pollutants in these sites. The leachate collected from Tay Mo landfill and Nam Son landfill showed the high concentration of iron and mercury. It was also recognized that the high strength of COD and color of leachate are the primary problems to be resolved at both sites. The application of several advanced oxidation processes (AOPs) to Tay Mo landfill leachate revealed that Fenton reaction and photo-Fenton reaction under pH adjustment effectively removed COD and color from the leachate and degraded the humic substance in it. Mutagenicity of the leachate was increased by UV-TiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Fenton (pH 3) and UV-Fenton (pH 3) treatments. This indicates that degradation of organic matters in the leachate resulted in the generation of toxic intermediates. Further investigation of the operating conditions of AOPs is necessary to minimize the environmental impact of waste landfill leachate.

**Key words:** environmental problem in developing countries, Vietnam, waste landfill leachate, advanced oxidation

#### 1. はじめに

地球温暖化やオゾン層の破壊など地球規模の環境問題に対して耳目が集まる一方で、発展途上国における地域的環境問題も早急に解決すべき問題として注目を集めている。途上国が経済成長および生活改善を成し遂げつつ環境汚染を最小限に食い止めるためには、環境破壊を代償にして発展を遂げてきた先進国の果たすべき責任は大きい。また途上国に対して相当の環境保全対策を強いることは、単に当該国の経済成長を妨げるだけでなく、かつてのような先進国主導の成長路線が望めない現状においては地球規模の持続的な発展の障害となることも避けられない。こうしたことを踏まえた上で、我が国においても途上

国における環境問題の解決に向けての対策に貢献していくことが求められている。

東南アジアの途上国であるベトナム社会主義共和国(以下ベトナム)は、社会経済の発展がめざましく、かつて新興工業国・地域として飛躍的な成長をとげた台湾、あるいはシンガポールなどに続く新たな成長国家として期待が寄せられている。一方で急激な工業化が深刻な環境汚染を引き起こしており、廃棄物処分に關わる環境汚染もその一つとして問題視されている。廃棄物埋立て処分場から発生する浸出水が引き起こす水環境汚染の危険性は世界的に問題視されている<sup>1)</sup>が、ベトナムにおける処分場浸出水のモニタリングデータは不足しており、その汚染状況が正確に把握できていないのが現状である。処分場浸出水

\* 国立環境研究所循環型社会形成推進・廃棄物研究センター 〒305-0053 茨城県つくば市小野川16-2

\*\* 富山県立大学短期大学部環境工学科 〒939-0398 富山県射水郡小杉町黒河5180

\*\*\* ベトナム国立大学ハノイ校 ハノイ科学大学環境技術・持続的発展研究センター 334 Nguyen Trai Street, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam

† ベトナム国立大学ハノイ校 ハノイ科学大学化学部物理化学科 19 Le Thanh Tong Street, Hanoi, Vietnam

†† 大阪大学大学院工学研究科 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1

中の汚染物質の濃度や種類は、処分場に埋め立てられた廃棄物、処分場の構造、および気象条件に大きく依存するため、その実態解明なしには包括的な対策はたてられない。また今後、浸出水処理施設を導入していく上で、その設計支援として水質モニタリングデータの蓄積は重要な役割を果たす。以上のことから本研究では、ベトナムの首都であるハノイ市内における生活系廃棄物処分プロセスの現状についてまとめるとともに、廃棄物埋立て処分場から発生する浸出水の水質モニタリングを行い、その汚染状況の把握および環境汚染ポテンシャルの評価を行った。また浸出水処理プロセスとして促進酸化法を提案し、実浸出水を用いた各種の促進酸化法による処理性能の評価を行った。

## 2. 実験材料および方法

### 2.1 廃棄物処分場の概要および試料の採取

ハノイ市の廃棄物埋立て処分場として、既に埋立てが終了した市街地の南西約10kmに位置するTay Mo処分場、および現在埋立て中で市街地から北方約50kmに位置するNam Son処分場を調査の対象とした。Tay Mo処分場は水田地帯の一画に位置するオープンダンプ型の処分場であり(Fig. 1)、周辺住民の苦情で廃棄物の投棄が中止された半年後に試料を採取した。水試料は処分場浸出水の湧出口2カ所(浸出水試料 TM1, TM2)、および浸出水が流入するNhue川の流入口からおよそ50m下流(TM3)から採取し、分析に供した。Nam Son処分場は表面遮水工および集水管の設置された処分場であり<sup>2)</sup>、試料採取時において埋立開始後約1年半が経過し、計画埋立て量の約3分の1が完了したところであった(Fig. 2)。浸出水試料(NS1)を浸出水出口で採取するとともに、浸出水放流先の河川水(NS2)および周辺湖沼の表層水(NS3)を採取し、分析および促進酸化法による処理に供した。



Fig. 1 Tay Mo waste landfill site



Fig. 2 Nam Son waste landfill site

### 2.2 実験装置および促進酸化法の条件

促進酸化反応装置の概要をFig. 3に示す。実容積2lの二重円筒形反応容器を用い、外側の反応容器中にガラスファイバー濾紙で濾過した浸出水を循環させた。紫外線(UV)を用いる処理においては、内側の反応容器中にUVランプ(250W)を設置した。光触媒としては、イルメナイト( $\text{FeTiO}_3$ )を活性炭上に吸着・焼結させたものを用いた。促進酸化法としては、光触媒-紫外線照射(UV-TiO<sub>2</sub>)、光触媒・過酸化水素水-紫外線照射(UV-TiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)、フェントン酸化(pH未調整およびpH=3)、およびフェントン酸化-紫外線照射(UV-フェントン酸化：pH未調整およびpH=3)を行った。UV-TiO<sub>2</sub>プロセスでは、外側の反応容器の下部をメッシュでカバーし、その内部に光触媒を1.0  $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ となるよう添加し紫外線照射を行った。UV-TiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>プロセスでは、50%過酸化水素水を2.5  $\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$ となるよう添加した後、UV-TiO<sub>2</sub>プロセスと同様の操作を行った。フェントン酸化における鉄(II)イオンとしては、ベトナム国内で採掘される天然鉱物であるモール塩( $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )を用いた。モール塩を初期濃度が $2.5 \times 10^{-3} \text{ M}$ となるよう添加した後、50%過酸化水素水を2.5  $\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$ となるよう添加するとともにフェントン酸化反応を開始した。pH調節は硫酸の添加により行った。UV-フェントン酸化ではフェントン酸化と同様の操作の後、紫外線照射を行って運転を開始した。

### 2.3 凝集沈殿処理

未処理の浸出水、ならびにUV-TiO<sub>2</sub>、UV-TiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、フェントン酸化(pH未調整)およびUV-フェントン酸化(pH未調整)の処理水について、モール塩による凝集沈殿処理を行った。試料水のpHは7.8-8.1であり、鉄塩による凝集沈殿の至適pH<sup>10)</sup>にほぼ適合していると判断し、特段のpH調整は行わなかった。凝集剤としてモール塩を初期濃度が $2.5 \times 10^{-3} \text{ M}$ となるよう添加し、30分静置後の上澄みを回収して分析に供した。

### 2.4 水質分析

水質分析はJIS規格K0102に基づいて行った<sup>3)</sup>。浸出水の化学的酸素要求量(COD)は重クロム酸カリウム法により分析した。色度は波長390nmの吸光度により測定した。重金属類濃度は、原子吸光度計AA6800(島津製作所社製)により測定した。浸出水中のフミン質の分子量分布は、Sephadex G-50(Pharmacia LKB., Uppsala, Sweden)によるゲル濾過クロマトグラフィー(10cm 径x 75cm長カラム、展開溶媒:50 mMリン酸バッファー(pH 7.0)、流速 1.5  $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ )による分画および波長390 nmの吸光度測定により測定した。

### 2.5 バイオアッセイ

浸出水の変異原性試験としてumu test<sup>4)</sup>を適用した。供試菌株としては*Salmonella thymurium* TA1535/ pSK1002株を用い、浸出水への暴露時間は2時間および4時間とした。β-ガラクトシダーゼ活性測定用基質としては2-ニトロフェニル-β-D-ガラクトピラノシドを用いた。陰性対象として滅菌水を用い、浸出水のβ-ガラクトシダーゼ活性が用量反応曲線を示し、かつ陰性対象の活性の2倍以上を示した場合に変異原性陽性と判定した。また、浸出水のエストロゲン性試験として酵母Two-Hybrid法<sup>5)</sup>を適用し、浸出水への暴露時間は4時間としてアッセイを行った。β-ガラクトシダーゼ活性測定は上記の条件に準じた。

### 3. 家庭系廃棄物回収および処分の現状

Table 1にハノイにおける生活系廃棄物に関する統計<sup>2)</sup>を示した。ベトナムとほぼ同じ面積の国土、および人口を有する東南アジアの国の首都としてフィリピンのマニラ<sup>6)</sup>、およびほぼ同じ人口を有する日本の都市として大阪の統計<sup>7)</sup>も比較して示している。ベトナムの一人あたりGDPは340米ドル(1997)であり<sup>8)</sup>、日本の37556米ドル(1998)<sup>9)</sup>はもちろん、フィリピンの912米ドル(1998)<sup>10)</sup>にも及ばない。一方、ハノイにおける一人あたりの家庭ゴミ発生量はマニラの3倍にも達しており、大阪よりは少ないものの、日本の全国平均とほぼ同程度であった<sup>11)</sup>。すなわちハノイにおいては、政治体制およびライフスタイルを反映して、その経済レベルに比較して廃棄物が発生しやすい社会構造となっていることが推測される。

ハノイで発生する生活系廃棄物はUrban Environment Company (URENCO)という業者によって一括して回収および処分されており、その回収率は76%にのぼっている。生活系廃棄物の収集は毎夕行われているが、狭い路地が多いため大型の集積車の通行が困難であることから、各家庭の廃棄物は荷台付きの手押し台車を用いて手作業で回収される (Fig. 4)。作業員が各家庭より個別に運び出される厨芥や路上の廃棄物を回収しながら、道幅の広い幹線道路で待機している大型集積車まで運搬され埋立て処分場へと搬送される。搬送先の埋立て処分場としては2000年初頭まではTay Mo処分場が主であった。この処分場は1997年よりURENCOにより管理されてきたが、2000年初頭に閉鎖された後は、市街地から北方50kmに位置するNam Son処分場まで運搬され埋立てられている。長距離輸送に加え、交通集中にともなう慢性的渋滞により、廃棄物の収集および運搬に長時間を要していることが大きな問題点として挙げられる。このように、経済成長およびそれに伴う廃棄物発生量の増加に対し、廃棄物の回収・処分システムが依然旧式のままで、整備が追いついていないのが現状であり、廃棄物処分システムの高度化を踏まえた収集運搬作業の簡素化が求められる。

Table 1 Comparison of statistics on waste among Hanoi, Manila and Osaka

	Collection of MSW	Generation of MSW	MSW generation per capita	Recovery
Hanoi	1017 t·d <sup>-1</sup>	1344 t·d <sup>-1</sup>	1.02 kg·d <sup>-1</sup>	76 %
Manila	2633 t·d <sup>-1</sup>	4052 t·d <sup>-1</sup>	0.39 kg·d <sup>-1</sup>	65 %
Osaka	4664 t·d <sup>-1</sup>	4906 t·d <sup>-1</sup>	1.88 kg·d <sup>-1</sup>	95 %

MSW: municipal solid waste



Fig. 4 Collection of municipal waste

### 4. 実験結果および考察

#### 4.1 処分場浸出水の水質分析

Tay Mo処分場およびNam Son処分場より採取した浸出水および周辺水環境中の重金属、COD濃度および色度をTable 2に示した。またTable 2には、ベトナムの産業排水基準および表層水水質基準も同時に示した。Tay Mo 処分場浸出水試料TM1およびTM2は、高いCODおよびSS濃度を示したほか、色度(主にフミン質)を示すA390が高い数値を示した。TM1, TM2, ならびに河川水試料TM3において、基準値を超えて検出された重金属類はTM3の水銀および鉄のみであった。試料採取時においてTay Mo処分場浸出水には高濃度の重金属類は含まれていないが、周辺水環境では浸出水由来の重金属汚染が進行している可能性が懸念された。またNam Son 処分場浸出水試料NS1, および周辺水環境試料NS2およびNS3は、いずれも高いCOD, 水銀および鉄濃度を示した。また、NS1は特に高い色度を示した。廃棄物中無機成分の洗い出しに影響を与える因子の一つとして、廃棄物層の深さが挙げられている<sup>12)</sup>。Nam Son処分場は埋立てが進行中であり、廃棄物層が低く、洗い出し効果を受けやすかったことから、Tay Mo処分場に比べて浸出水に高濃度の重金属が検出されたと推測される。特にNS1中の水銀濃度は産業排水基準を上回っていたが、NS2およびNS3においても高濃度で水銀が検出されており、継続的なモニタリングによる十分な警戒が必要であると言える。一方、生活系廃棄物が直接埋め立てられている処分場の浸出水では、埋立て終了後長期にわたり高い有機物濃度が続くことが報告されている<sup>13)</sup>。これは嫌気的条件下においては、きわめて緩慢に固形廃棄物が分解され、浸出水中に継続的に物質が溶解すること、および不飽和透水係数の違いにより長く緩やかな浸透が起りやすいこと<sup>14)</sup>などが原因として考えられる。いずれにしてもTay Mo処分場、およびNam Son処分場浸出水中から高濃度のCODや高い色度が検出されていることは、浸出水由来の汚染が長期化する可能性を示唆しており、浸出水処理および周辺環境汚染防止策について検討することの必要性が確認されたものといえる。特にTay Mo処分場は市街地に近く、周辺環境汚染の危険度も高いこと、および遮水工構造を有していないことなどから、浸出水を適切に回収しその処理を行うことが強く求められる。そこで、以降Tay Mo処分場浸出水を対象に、長期的な観点から第一に対策が必要であると考えられるCODおよび色度の除去技術に関する検討を行った。

#### 4.2 促進酸化法による浸出水のCODおよび色度除去

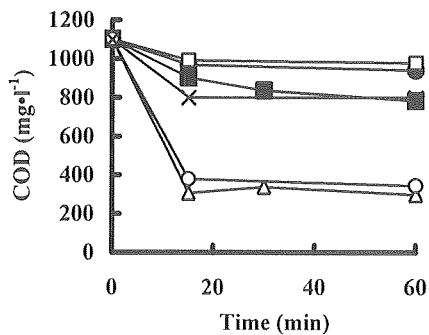
Fig. 5およびFig. 6に、各種促進酸化処理による処分場浸出水中のCODおよび色度の除去について示した。CODおよび色度の除去に対しては何れも、フェントン酸化(pH=3)およびUV-フェントン酸化(pH=3)が効果的であり、CODについては75%前後、色度については85%程度の除去率が達成された。一般にUV-フェントン酸化は、フェントン酸化に比べラジカルの発生量が多く、酸化力も強いとされている<sup>15)</sup>が、浸出水のCODおよび色度除去においては、両法でほぼ同程度の効果しか得られなかった。これは、高い色度によって紫外線が反応槽内の浸出水に十分に透過せず、効率的なラジカルの発生が起らなかったためと推測される。従って、高い色度を有する浸出水に

**Table 2** Quality of leachate and surface water taken from Tay Mo and Nam Son waste landfill area. Vietnamese standards for surface water and industrial water were also shown.

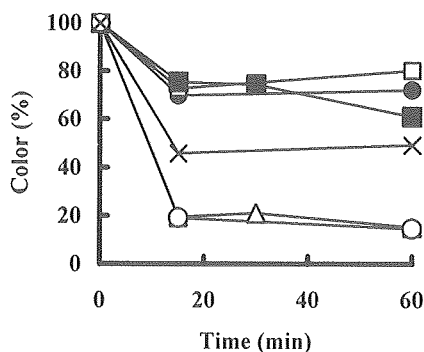
		Ni	Cu	Cd	Pb	As	Hg	Mn	Fe	SS	COD	A390
leachate	TM1	53	5.0	5.0	320	42	1.8	15	7500	280	920	3.1
	TM2	33	3.3	3.1	150	35	2.3	11	3250	790	725	3.0
	NS1	50	29	4.0	100	53	82	2200	10400	0.16	1010	2.3
surface water	TM3	7.8	22	1.4	92	17	3.6	60	9610	170	43.4	0.15
	NS2	13	8.8	2.0	27	37	420	3200	18400	0.14	536	0.83
	NS3	12	31	2.0	21	31	60	ND	14100	0.22	150	0.29
VN standard for surface water		1000	1000	20	100	100	2	800	2000	80	35	—
VN standard for industrial water		2000	5000	500	1000	500	5	5000	10000	200	400	—

Unit: Metals;  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ , SS and COD;  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$

対して、UV照射を含む促進酸化プロセスを適用する際には、その照射方法について十分検討することが必要であり、同程度の処理性能しか得られないのであれば、費用や運転管理など実用的な観点からいって、UV照射は不要であることが提案されよう。Fig. 7には浸出水および促進酸化処理水中のフミン質の分子量分布を示した。溶出容量60 mlおよび150 ml付近のピークはフェントン酸化 (pH=3)およびUV-フェントン酸化(pH=3)処理によって減少しており、効率的な色度除去はフミン質の酸化分解に起因するところが大きいと推測された。また新たなピークの出現は見られなかったことから、浸出水中のフミン質は促進酸化処理により低分子化されるが、重合反応が生じ高分子



**Fig. 5** COD removal from leachate by AOPs. □:UV-TiO<sub>2</sub>, ●:UV-TiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, ■:Fenton, △:Fenton (pH=3), ×:UV-Fenton, ○:UV-Fenton (pH=3)



**Fig. 6** Decolorization of leachate by AOPs. □:UV-TiO<sub>2</sub>, ●:UV-TiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, ■:Fenton, △:Fenton (pH=3), ×:UV-Fenton, ○:UV-Fenton (pH=3)

量の中間物質が生成されることはないものと考えられた。

効率的なCODおよび色度除去が確認されたフェントン酸化 (pH=3)およびUV-フェントン酸化 (pH=3)以外の促進酸化処理水に対し、凝集沈殿を適用した結果をTable 3に示した。浸出水を直接凝集沈殿処理した場合には、CODが24.2%、また色度は3.6%しか除去されなかったのに対して、UV-TiO<sub>2</sub>およびUV-TiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>処理後の浸出水では、凝集沈殿による色度の除去が大幅に促進された。このように、凝集沈殿の性能を高めるという観点からも促進酸化処理が有効であることが示された。一方で、pHを調節しなかったフェントン酸化および同じくpHを調節しなかったUV-フェントン酸化では、その後の凝集沈殿によってCOD除去は促進されたが、色度は逆に増加した。両プロセスにおいては、フェントン反応の時点で鉄(II)イオンがすでに添加されており、凝集沈殿処理の際に過剰の鉄が添加されたことによる分散<sup>16)</sup>が起こった可能性が考えられる。ベトナム国内においては産業用の薬剤についても必ずしも購入は容易ではないが、フェントン酸化で用いられるモール塩は国内で生産されており、安定して供給されている。また過酸化水素は中国から輸入されており、比較的安価(約500米ドル $\cdot\text{t}^{-1}$ )で入手可能である。ここで、現地安定して入手可能な薬剤を用いた効率的な処理技術が提案されたことは、今後の処理技術の普及において大きな利点となるものと期待される。

**Table 3** Removal of COD and color by combination of advanced oxidation treatment and coagulation

	COD		A390	
	Conc. ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	Removal (%)	Unit	Removal (%)
Raw leachate (R)	1100	—	3.07	—
R + coagulation (C)	833.8	24.2	2.96	3.6
UV-TiO <sub>2</sub>	977.4	11.1	2.46	19.9
UV-TiO <sub>2</sub> + C	803.7	26.9	2.33	24.1
UV-TiO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	940.6	14.5	2.21	28.0
UV-TiO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + C	774.9	29.5	1.68	45.3
Fenton	783.4	28.8	1.87	39.1
Fenton + C	694.4	36.9	2.20	28.3
Fenton (pH=3)	297.9	72.9	0.464	84.9
UV-Fenton	799.5	27.3	1.51	50.7
UV-Fenton + C	677.9	38.4	2.40	21.8
UV-Fenton (pH=3)	344.0	68.7	0.446	85.5

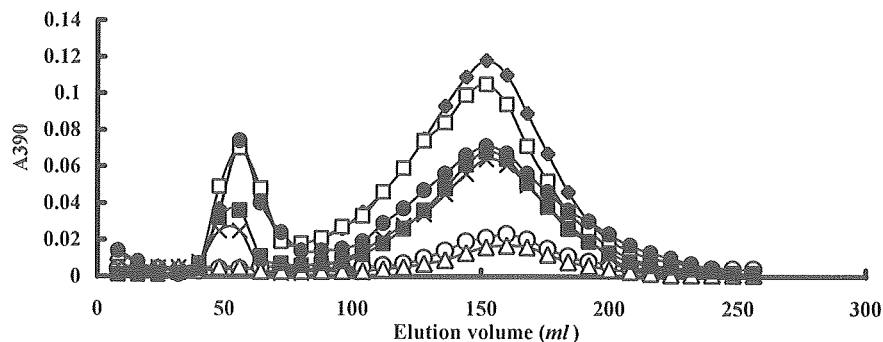


Fig. 7 Distribution of molecular weight of humic substances in leachate.

◆:raw leachate, □:UV-TiO<sub>2</sub>, ●:UV-TiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, ■:Fenton,  
△:Fenton (pH=3), ×:UV-Fenton, ○:UV-Fenton (pH=3)

#### 4.3 バイオアッセイによる各処理法の評価1

Fig. 8にumu testの結果得られた浸出水および各処理水の用量反応曲線を示した。浸出水からは変異原性は検出されなかったのに対して、フェントン酸化 (pH=3), UV-フェントン酸化 (pH=3), およびUV-TiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>処理水からは変異原性が検出された。また、エストロゲン性はすべての試料から検出されなかった (データ不載)。今回採用された試験方法は一次スクリーニング手法であること、より高い濃度域での試験ができなかったことなどから、これらの試料の毒性について正確な評価が行われたとはいえないが、上記の3種の促進酸化処理により浸出水の変異原性が高くなる可能性が示されたことは確かである。有機物の促進酸化処理による非意図的な毒性物質の生成、および蓄積についてはこれまでも報告されており<sup>17)</sup>、不完全な酸化反応による中間生成物の残存が主な原因と考えられている。すなわち、添加物質の量や反応時間など適切な反応条件を設定し、これらの中間生成物を完全に分解することが、浸出水の促進酸化処理を実用化するうえで重要な課題である。また途上国においても、一次スクリーニング的なバイオアッセイを浸出水評価へ適用し、集中的に毒性モニタリングを行っていくことが、総合的な処理性能評価、ひいては水環境全体に与える影響の評価を行ううえで有効と考えられる。

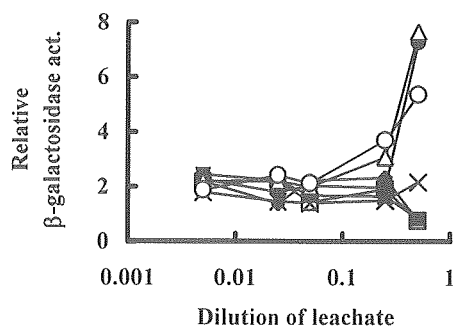


Fig. 8 Dose-response curve of mutagenicity of leachate. ◆: Raw leachate, and □:UV-TiO<sub>2</sub>, ●: UV-TiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, ■:Fenton, △:Fenton (pH=3), ×:UV-Fenton and ○:UV-Fenton (pH=3) treated leachate.

#### 5. まとめ

ハノイ市内において発生する廃棄物の最終処分場、お

よびすでに閉鎖された処分場から発生する浸出水の水質調査を行った結果、高いCODおよび色度を有すること、および様々な重金属の汚染源となっていることが明らかとなった。こうした高いCODや色度を有する廃棄物処分場浸出水の処理技術として期待される、各種促進酸化法を用いて実浸出水の処理性能を比較した結果、浸出水のpHを3に調節しフェントン酸化およびUV-フェントン酸化を適用することがCODおよび色度の除去に対して効率的であることが明らかとなった。また、凝集沈殿処理単独ではCODおよび色度は十分に除去されないが、UV-TiO<sub>2</sub>およびUV-TiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>プロセスとの組合せにより、特に色度の除去が促進されることが示された。これらの処理に用いられるモル塩および過酸化水素はハノイ市内においても比較的入手が容易な薬剤であり、地域の特性にも適合した処理技術として期待される。また浸出水からは変異原性が検出されなかったのに対してフェントン酸化 (pH=3), UV-フェントン酸化 (pH=3), およびUV-TiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>処理水からは変異原性が検出され、簡易毒性モニタリングによる処分場浸出水管理の有効性が示された。地球規模での持続的成長を見据え、発展途上国の環境問題解決に対する貢献はますます重要となるものと考えられる。バイオアッセイによる水質評価など最新の技術導入に加えて、地域性を考慮した処理技術の検討は、将来的な問題解決の上で必要不可欠であるといえよう。今後も先進国が果たすべき重要な役割として、現地の状況に適応した環境技術支援を続けることが期待される。

#### 謝辞

本研究は日本学術振興会東南アジア諸国学術交流事業拠点大学方式交流における共同研究の一部として行われた。ここに記して謝意を表する。

(原稿受付 2002年6月27日)

(原稿受理 2002年8月14日)

#### 参考文献

- 1) Christensen, J. B. and Christensen, T. H. (2000) The effect of pH on the complexation of Cd, Ni and Zn by dissolved organic carbon from leachate-polluted groundwater, *Wat. Res.*, **34**, 3743-3754.
- 2) Japan International Cooperation Agency and Hanoi People's Committee (1999) Socialist Republic of Vietnam The Study on Environmental Improvement for Hanoi City in the Socialist Republic of Vietnam Interim Report Volume 3.
- 3) Japanese Standard Association (1995) Japanese Industrial Standard K102, Japanese Standard Association, Tokyo, Japan, 134-145.
- 4) Oda, Y., Nakamura, S., Shimada, T., Oki, I. and Shinagawa, H. (1985)

- Evaluation of the new system (umu test) for the detection of environmental mutagens and carcinogens, *Mutation Res.*, **147**, 219-229.
- 5) Nishikawa, J., Saito, K., Goto, J., Dakeyama, F., Matsui, M. and Nishihara, T. (1999) New screening methods for chemicals with hormonal activities using interaction of nuclear hormone receptor with coactivator, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **154**, 76-83.
  - 6) 小椋健二 (2000) マニラ首都圏の家庭ゴミの処分状況, 用水と廃水, **42**, 1123-1128.
  - 7) 大阪市 (2002) 第89回大阪市統計書平成13年度版
  - 8) Hanoi Statistical Office (1998) 1997 Hanoi Statistics Yearbook, Hanoi Urban Master Plan for 2020
  - 9) 内閣府経済社会総合研究所 (2001) 平成12年度国民経済計算年報 確報
  - 10) 外務省 (2001) 各国・地域情勢  
<http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/philippines/index.html>
  - 11) 廃棄物情報研究会編 (2001) Fact Book 廃棄物基本データ集2000, 日本環境衛生センター, 川崎
  - 12) 田中信寿, 松藤敏彦 (1994) 廃棄物埋立層内の降雨不飽和浸透流れによる非反応性物質輸送 (混合) 現象への拡散モデルや二成分モデルの適用性, 廃棄物学会論文誌, **5**, 1-10.
  - 13) Palmisano, A.C. and Barlaz, M.A. Ed. (1996) Microbiology for solid waste, CRC Press, Inc, Boca Raton, Florida.
  - 14) 田中信寿, 松藤敏彦 (1993) 廃棄物埋立層における不飽和水分移動特性とその測定法に関する研究, 廃棄物学会論文誌, **4**, 107-115
  - 15) Pignatello, J. J. (1992) Dark and photoassisted Fe<sup>3+</sup>- catalyzed degradation of chlorophenoxy herbicides by hydrogen peroxide, *Environ. Sci. Tech.*, **26**, 944-951.
  - 16) 松尾友矩 監訳 (1993) 水質環境工学, 技報堂, 東京
  - 17) Manilal, V. B., Haridas, A., Alexander, R. and Surender, G.D. (1992) Photocatalytic treatment of toxic organics in wastewater: Toxicity of photodegradation products, *Wat. Res.*, **26**, 1035-1038.