染色加工排水の高度処理技術

加工技術部　原田　真、丹羽隆治

1. はじめに

排水処理では活性汚泥法が主流になってきているが、その処理によって発生する余剰汚泥が大きな問題になってきている。染色整理業から排出する汚泥量は50万トン／年と多く、その処分費用が膨大なものになっている。それらを焼却処分している企業も一部あるが、ほとんどの企業は産廃業者に委託し埋め立て処理を行っているのが現状である。しかし、年々処分場の減少などにより処分コストの上昇が見込まれる。このような背景の中で、最近、余剰汚泥の出ない排水処理として、様々な微生物資材を用いた排水処理法（以後ノンスラッジ法）が注目を集めている。実際に、染色排水、糊抜・精練排水をそのような方法で処理している工場が増えてきており、それに関する問い合わせもある。

本研究では、実際にそれらの処理法を行っている工場について、処理プロセス、排水、スラッジを様々な観点から調査した。そして通常の活性汚泥処理との比較、用いる微生物資材の分析などから、ノンスラッジ活性汚泥処理法についてのデータを得た。

また、排水処理試験機を用いてそれら処理法のさらなる高効率化を模索し、さらに微生物群解析の新しい技法である、キノンプロファイル法を用いて、活性汚泥中の微生物の状況についても調査を行った。

2. 試験方法

2.1　ノンスラッジ活性汚泥処理の調査

微生物資材を用いて実際にノンスラッジの活性汚泥処理を行っている工場について、サンプリングを行い様々な観点から調査し、通常の活性汚泥処理を行っている場合との比較を行った。

・調査対象工場

染色工場3社（微生物資材2種類）

糊抜・精練工場1社

シート洗浄工場1社

2.2　排水処理試験機を用いた高効率化試験

ノンスラッジ活性汚泥処理を行っている染色工場（2社）へ排水処理試験機を持ち込み、実際の排水処理と並列で処理を行い、各処理槽での汚泥、排水の状態を調べた。さらに、試験機の処理条件を変えることで、さらなる効率化を図った。

・排水処理試験機

試験に用いた排水処理試験機を図1に示す。この試験機は、平成2年度に「ひも状接触材による染色排水処理」の研究[1]で用いた接触酸化試験機および活性汚泥法処理試験装置を改良し、組み合わせることで準備した。

2.3　キノンプロファイル法による汚泥中微生物群の定量解析

染工場、整理工場数社から実際に微生物処理を行っている汚泥を採取し、非培養系の解析手法として　バイオマーカー法に位置づけられるキノンプロファイル法を用いて、活性汚泥中の微生物群について定量解析を行った。

2.3.1　キノンプロファイル法とは

キノンは電子伝達系物質の1つで、微生物の細胞膜に存在し、呼吸鎖や光合成電子伝達の必須成分であるため、ほとんど全ての微生物に存在する。微生物におけるエネルギー代謝の違いによってキノン分子種も異なる。菌体キノンには次のような特徴がある[2]。

(1) あらゆる細菌に存在する成分である。

(2) 分類群によって様々な構造的差異や分子種の相違が見られる。

(3) 一般に一つの菌種・菌属には一つの優占キノン分子種が存在しているため、キノン分

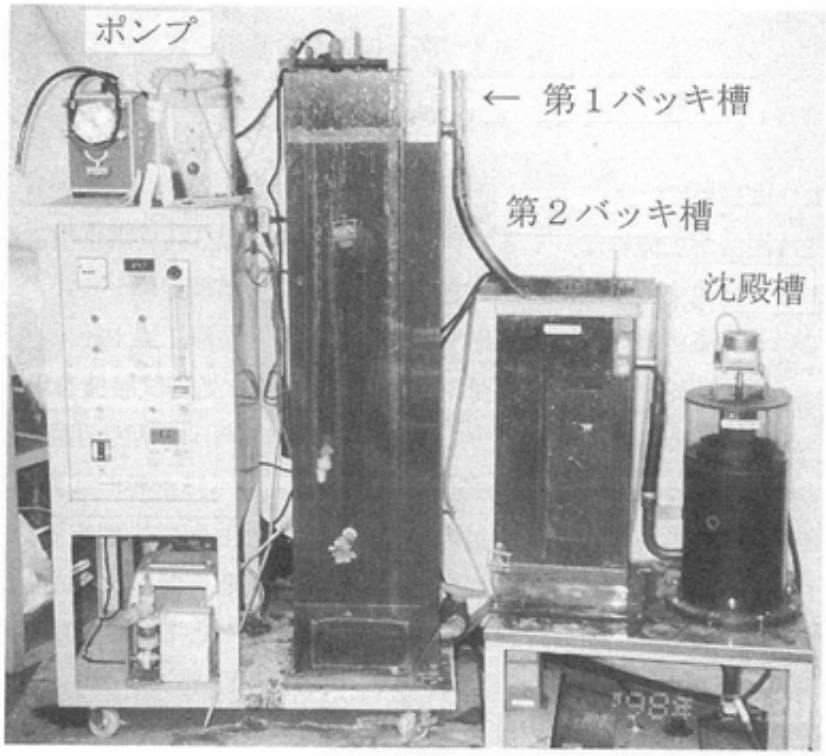


図１　排水処理試験機

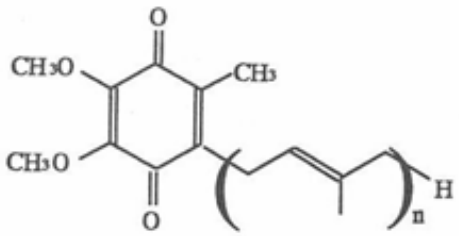
子種の存在比はそのまま各キノン分類群の分布比を反映していると見なされる。

(4) 抽出・分析が容易である。

(5) すでに、多数の菌種・菌属および系統群についてキノン系の情報が豊富に蓄積され、得られたキノンプロファイルから、その系に存在している群種が推断できる。

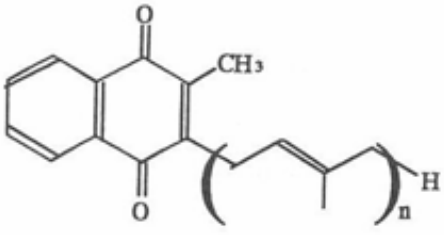
キノンは図２に示すようにその構造から、ユビキノン（Q）とメナキノン（MK）に大別され、イソプレン側鎖の単位数（n）の違いによってQ-n, MK-nと示す。特にnとその飽和度は菌種・菌属に特有であることから分類に用いる際の基本的な指標となる。

各微生物群にとってキノンプロファイルが特徴的であり、一般に一菌種に対して一優占キノンを有していることから、キノンプロファイルの変化を菌種の増減と見なすことができる。



ユビキノン

Q-n



メナキノン

MK-n

図２　キノンの分子構造

2.3.2　採取したサンプル

キノン分析用に採取したサンプルは次の７点である。

・染色工場４社

・糊抜・精練工場２社

・シート洗浄工場１社

2.3.3　分析および解析方法

化学分類の一技法としての微生物菌体キノンの系分析方法は、すでに成書や文献[3]に詳しく載っている。今回我々は豊橋技術科学大学の協力を得て菌体キノンの分析を行った。

キノンの定量には、高速液体クロマトグラフィーを用いた。（島津製LC-10Aシリーズ）評価法としては、汚泥中のキノン分子の存在比、濃度、キノン分布の非類似度で評価した。

3.　結果及び考察

3.1　ノンスラッジ活性汚泥処理の調査

微生物資材を用いてノンスラッジ活性汚泥処理（ノンスラッジ法）を行っている染色工場Aと標準活性汚泥処理（標準法）を行っている染色工場Bについて、それぞれの処理状況の比較を表1に示す。

処理効率はノンスラッジ法の方がかなり優れていることがわかる。各項目を比較すると、原水に含まれるBOD成分の割合が大きく異なっていることがわかる。染色工場Aの原水中には微生物によって分解されやすい成分がはるかに多い。また、汚泥の凝集性、沈降性を示すSVの値についても染色工場Aの方が優れている。この傾向は他のノンスラッジ法を行っている工場についても見かけられた。バッキ槽中の汚泥の沈降性については、他のノンスラッジ処理例においても同様に良好であったため、ノンスラッジ法と汚泥沈降性の関連は大きいと考えられる。

原水中に分解されやすい成分が多いというのは、微生物がフロックを形成するのに好条件であるため、凝集性が良く、沈降性の良いフロックが形成される。またこの場合、代謝効率がよいためフロック生成速度と消化速度が等しくなり、見かけ上汚泥の発生がないと考えられる。さらに、沈殿槽での汚泥のスムーズな沈降、凝集が汚泥返送の高効率につながり、余剰汚泥の発生を妨げているとも考えられる。

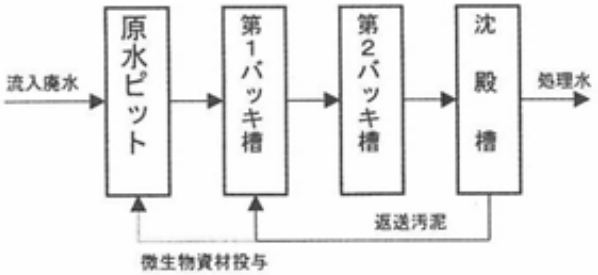
染色工場の排水は、用いる助剤、染料などによって大きく異なるので、この結果がどの工場についてもあてはまるとは言えないが、処理効率に与える影響については関係があると思われる。

表1　ノンスラッジ法と標準法との比較

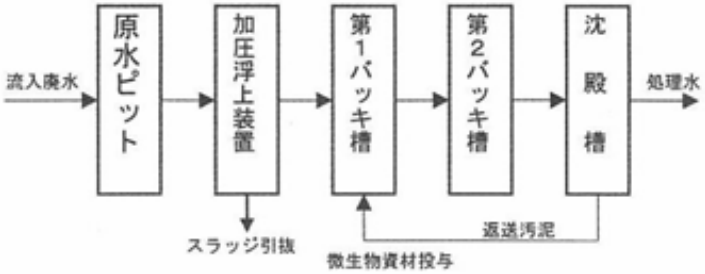
項　目		染色工場A（ノンスラッジ法）	染色工場B（標準法）
原水	COD（mg/l）	300	520
	BOD（mg/l）	204	188
	BOD/COD	0.68	0.38
バッキ槽	MLSS（mg/l）	3070	3060
	DO（mg/l）	1.0	1.5
	SV（%）	60	75
放流水	COD（mg/l）	34	113
	BOD（mg/l）	13	10
COD除去率（%）		89	78
滞留時間（日）		2	2
汚泥引抜量（t/日）		0	3〜4

3.2　排水処理試験機を用いた高効率化試験

比較試験を行った染色工場の排水処理のフローを図3に示す。試験機の処理フローは染色工場1とほぼ同じである。



染色工場1の処理フロー図



染色工場2の処理フロー図

図3　排水処理フロー図

3.2.1　高効率化試験1

表2に試験結果の例として、ノンスラッジ法で処理を行っている染色工場の染色排水処理と排水処理試験機での処理との比較を示す。この工場は主としてアクリル、ポリエステルのチーズ染色を行っており、排水中にはカチオン染料、分散染料、染色助剤が含まれている。どの測定項目を見ても、試験機の優れた処理効率が現れている。この理由としては、バッキ層中のスラッジ濃度の影響（MLSS、SV）が考えられる。染色工場では第1、第2バッキ層でのMLSS、SVがほぼ同じなのに対し、試験機においては第1バッキ層に集中していることがわかる。つまり、第1バッキ層での高いスラッジ濃度が、処理効率のアップに大いに貢献することがわかる。

3.2.2　高効率化試験2

表3に染色工場の排水処理と試験機での処理との処理効率の比較を示す。この工場は主として綿繊物の糊抜、精練、漂白、染色、樹脂加工を行っており、排水中にはかなり難分解性な成分が多く含まれている。図3に示すとおりこの染色工場では、試験1の工場と異なりバッキ工程の前に凝集処理工程を加えている。このため、バッキ槽中の微生物に対する排水の負荷は、試験機の方がかなり高くなっていると思われる。放流水のCODについては、どちらについても規制値よりかなり高く、透視度も悪いためまだまだ処理効率の改善が必要である。しかし処理効率で考えてみると、試験機の方は凝集処理をかけていないにもかかわらず、染色工場の放流水と同レベルまで処理できていることから、この染色工場でも処理条件によっては凝集処理を行わなくても、このレベルまでなら浄化が十分可能であるとわかった。バッキ槽の状態についても、染色工場の場合第1、第2ともにスラッジ濃度が高くMLSSも3,000以上あるため、処理がうまく行っているように見える。しかし、汚泥の凝集性、沈降性が悪く濁っている状態であり、処理も実際はあまり良い状態ではない。試験機のバッキ槽に注目すると、前記の比較試験の状態と同じような状態、つまり汚泥が第1バッキ層に集中していることがわかる。

他の日のデータから見ても、効率の善し悪しとバッキ槽中の汚泥濃度、状態との関係は大きかった。今回の試験からも第1バッキ層での高いスラッジ濃度が、処理効率のアップに大いに貢献していることがわかる。

表2　処理効率比較試験1

試料 ＼ 項目		COD (mg/l)	BOD (mg/l)	導電率 (S/mm)	MLSS (mg/l)	SV	透視度
原水		600	550	26.9	—	—	1.6
染色工場1	第1バッキ槽	—	—	—	1920	28	—
	第2バッキ槽	—	—	—	1980	32	—
	放流水	138	81	26.4	—	—	3.5
試験機	第1バッキ槽	—	—	—	3070	85	—
	第2バッキ槽	—	—	—	1030	2	—
	放流水	54	5	26.0	—	—	30以上

表3　処理効率比較試験2

試料	項目	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	導電率 (S/mm)	MLSS (mg/l)	SV	透視度
原水		549	470	203.4	—	—	0.8
染色工場2	第1バッキ槽	—	—	—	3665	96	—
	第2バッキ槽	—	—	—	3425	94	—
	放流水	168	61	320.0	—	—	4.5
試験機	第1バッキ槽	—	—	—	4940	82	—
	第2バッキ槽	—	—	—	1465	6	—
	放流水	176	18	205.5	—	—	1.5

3.3　キノンプロファイル法による汚泥中微生物群の定量解析

3.3.1　染色工場

図4に用いた微生物資材による、汚泥中のキノン分子存在比の違いを示す。図中の染工場A、Bはそれぞれ異なった微生物資材を用いてノンスラッジ活性汚泥処理を行っている染色工場である。キノン存在比の図に注目すると、染工場Aの汚泥中に含まれるキノンの種類がかなり多いことがわかる。一般にキノン分子種の種類が多い方が処理状態はいいといわれるが、実際に処理の効率を比較してみても、染工場Aの方が優れた効率を示していた。またA、Bどちらの場合においても、ユビキノンが占める割りあいがほとんどであることがわかる。なかでも、特に染工場BではQ-8が半分以上を占めている。活性汚泥中の菌体濃度に注目すると、こちらも染工場Aの値がBと比べかなり多く、状態が良いことがわかる。これら比較については、処理条件や排水成分の違いの影響も考えられるので、単純に微生物資材による微生物相の違いとは言い切れないが、どちらについても好気性菌であるユビキノンが多くの割合を占めているのは興味深い。

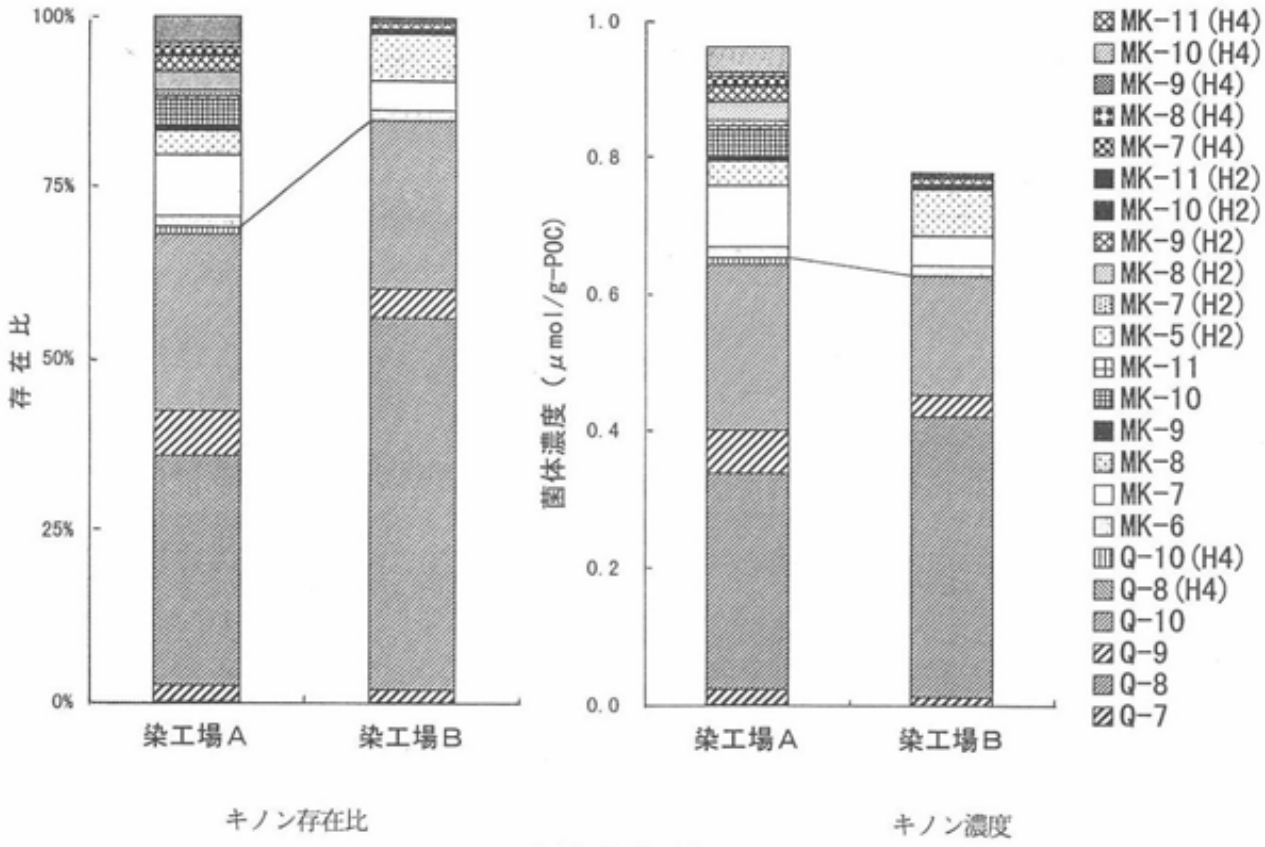
3.3.2　糊抜き・精練（整理）工場

図5の整理工場Aは標準活性汚泥を用いた排水処理を、Bは微生物資材を用いた排水処理を行っている糊抜き・精練工場である。汚泥中に存在する菌種の数は両方ともほぼ同じだが、それぞれの比率が大きく異なっているのがわかる。キノン存在比に注目すると、工場Aの場合ユビキノンが全体の6割以上を占めているが、工場Bではその比率が逆転している。糊抜き・精練排水の処理についても、活性汚泥中の菌体量は標準法の方がはるかに多いことがわかる。糊抜き・精練の場合、使用薬剤、工程の違いは少ないため、排水の成分は類似していると考えられる。ゆえに、このような汚泥のキノンプロファイルの違いは用いた微生物資材の違いによっておこったものと考えられる。

4.　ま と め

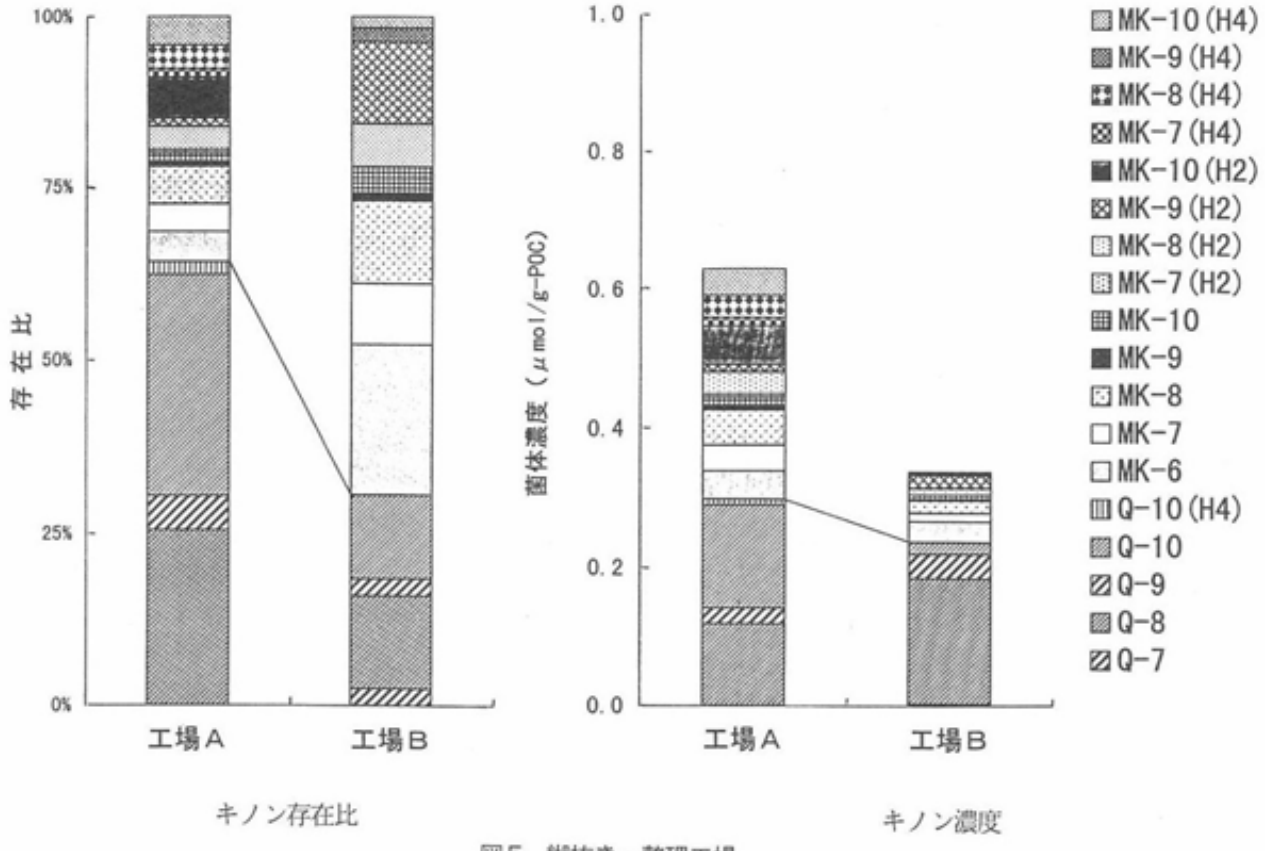
本研究では、微生物資材を用いてノンスラッジ活性汚泥処理を行っている染色、糊抜・精練工場の排水、スラッジを様々な観点から調査した。またミニプラント処理試験機を用いてそれら処理法の高効率化を模索した。さらにキノンプロファイル法を用いて、活性汚泥中の微生物の状況についても調査を行った。これらの研究成果として、以下のことがわかった。

1. ノンスラッジ処理の理由の一つとして、ノンスラッジ法では、凝集性が良く、沈降性の良いフロックが素早く形成されることが考えられる。さらに、沈殿槽での汚泥のスムーズな



キノン存在比　　キノン濃度

図4　染色工場



キノン存在比　　キノン濃度

図5　樹抜き・整理工場

沈降、凝集が余剰汚泥の発生を防いでいると考えられる。

2. ミニプラント試験機を用いた試験によって、微生物資材を用いた生物処理法では第1バッキ槽中の汚泥濃度を高くすることによって、処理効率の向上がはたせることがわかった。さらにバッキ槽の構造についても、槽中の汚泥の対流を考慮した構造に改良することで、処理効率が高まることがわかった。
3. 染色、整理排水など処理物質の違いによって、バッキ槽中の活性汚泥のキノンプロファイルは大きく異なることがわかった。

今回、実際に各種工場に出向き分析調査することによって、産地の排水処理の現状を把握することが出来た。また、キノンプロファイル法によって、今までまったくわからなかった汚泥中の微生物相の状態を定量的に示すことが出来た。

最後に本研究を行うにあたり、キノン分析について多大なご協力をいただいいた、豊橋技術科学大学エコロジー工学系胡助教授に厚くお礼申し上げます。

文　献

1) 出口和光，斉藤秀夫，西村美郎，三河繊維研究資料，244，59，(1993)
2) 平石明，キノンプロファイル法による活性汚泥細菌の生態学的研究，用水と廃水，32，1059-1070
3) ㈱日本水質汚濁研究協会　ポピュレーションダイナミックス研究委員会編（1990）微生物菌体キノンの分析〈キノン分析講習会テキスト〉