

生物学的排水処理のプロセスとその維持管理

化学工業排水における生物処理プロセスと
その維持管理

宮崎 英男*・竹内 正美**・村上 定瞭***

キーワード：化学工業排水，生物処理，プロセス計画，維持管理

はじめに

生活排水については、古くより技術開発は国家プロジェクトとして取り組まれ、政府の財政支援等の下、施設建設・維持管理は地方自治体により行われている。一方、工業排水については個々の排水により汚濁物質の組成と濃度ならびにその排水量が様々に異なる。工業排水に含まれるこれらの物質の中には、化学的にも生物学的にも難処理性であるものが少なくない。

生活排水と工業排水との処理技術の根本的な相違は、前者は成分がほぼ均一でしかも濃度が一定しており汎用的な技術が適用できる。これに対し、後者は個々の事業所に応じた処理プロセスが要求されることに加え、時代の変遷とともに排水の組成や濃度が著しく変化していることである。このことから、工業排水はその性状に応じて物理・化学・生物の各要素技術を組み合わせた処理プロセスにより浄化されている。

本解説では生物プロセスの設計や維持管理に係わる事項を中心に概説を行う。

1. 排水の組成と特徴¹⁾

今日の化学工業の分野は、化学肥料、ソーダ工業製品、無機薬品・顔料・触媒、各種工業ガス、有機薬品、合成樹脂・合成ゴム、化粧品・香料、合成洗剤・界面活性剤、医薬品・農薬品、合成繊維、塗料・インキ、写真フィルム、光電子材料等々と多岐に亘っている。

化学工業からの排水(排気ガスの洗浄水を含む)

には、懸濁性・溶解性物質、無機系・有機系物質が含まれ、その組成と濃度は、様々に異なる。この中で、微生物を用いて処理可能な物質は主として溶解性の有機化合物である。有機化合物は、脂肪族系、芳香族系、窒素やハロゲン化合物、低分子から高分子まで、その種類が極めて多い。化学工業排水の事例として、表1(1)、(2)に著者らが過去に取り扱った排水の性状を参考までに示す。これらの排水の詳しい性状および処理プロセスについては、文献²⁻¹¹⁾を参照されたい。

2. 排水処理プロセスの概要

2.1 排水処理の要素技術

化学工業排水については、含まれる汚濁物質は①有機系か無機系か、②懸濁性か溶解性か、③化学分解性か生物分解性か、さらに、④排水量と汚濁物質の濃度、⑤排出基準などにより適用される技術も異なり、通常いくつもの要素技術の組み合わせにより処理プロセスが構成される。排水処理の要素技術は、表2(46頁)に示すように様々な原理に基づいており、これらは物理法、物理化学法、化学法、生物法に分類される。排水の性状に応じた最も適切な方法を選択して組み合わせ、効果的で経済的な処理プロセスが採用されている。

2.2 排水処理プロセスの計画

化学工業における排水処理プロセスの計画に当たって、その基本構成の決定手順の概要を図1(46頁)に示す。

有機系・無機系に関わらず懸濁物質は、固液分離により除去される。固液分離後に残存する溶解

Process and Management of Biological Wastewater Treatment in Chemical Industries

*富士フィルム(株) Hideo MIYAZAKI

**宇部工業高等専門学校 Masami TAKEUCHI

***広島商船高等専門学校 Sadaaki MURAKAMI

成分は、無機
方法が異なる

無機系物質
により、除去

有機系物質
る。濃厚排水

たは無害化
は、嫌気性

する。低濃度
ガスへ変換

物分解性へ

表1 化学工業排水の事例

(1)性状と特徴*

製造工程	主な難分解性成分	特徴
PVC樹脂 ²⁾	PVC(未回収製品)、セルロース誘導体(懸濁剤)、過酸化剤(重合開始剤)	白濁した極めて難処理性排水で、汚濁物質濃度が高い。
ABS樹脂 ³⁾	アルキルベンゼンスルホン酸(分散剤)、アクリルニトリル・ブタジエン・スチレン(ABS原料)	難処理性で、汚濁物質濃度は中程度の透明な排水。
写真工程 ⁴⁻⁷⁾	芳香族アミン類(現像主薬)、Fe-EDTA錯体	生物学的に易および難分解性の成分が混在し、汚濁物質濃度が極めて高い懸濁状の排水。
フォトレジスト原料 ⁸⁾	テトラヒドロキシベンゾフェノン(未回収製品)	濃褐色の排水で、汚濁物質濃度が高い。
無電解メッキ工程 ⁹⁾	次亜リン酸(還元メッキ剤)、亜リン酸(老廃液)	生物学的に易分解性および難分解性の成分が混在し、汚濁物質濃度が極めて高い。
液晶 ¹⁰⁾	ジメチルスルフォキシド(液晶剥離剤)、モノエタノールアミン(易分解性、高濃度)	嫌気状態で還元され、異様な悪臭を発する。長期間の微生物育種により、ほぼ完全に除去できる。
医薬中間体 ¹¹⁾	N-シクロヘキシルベンゾチアジール-スルフェンアミドなど(原料及び未回収製品)	濃褐色の排水で、汚濁物質濃度が高い。受注生産で種類が多く、排水が不定期に生じるため、処理設備の維持管理が難しい。

*各排水の処理工程については各々の文献参照。

PVC:ポリ塩化ビニール; ABS:アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン共重合体; 写真工程:写真フィルム製造工程ではなく、写真処理工程からの排水。

(2)汚濁項目

No.	排水	TOC	COD	BOD	BOD/TOC	N	P
1	PVC樹脂	2,227	748	83.5	0.037	-	-
2	ABS樹脂	326	327	234	0.72	-	-
3	写真工程	13,500	34,600	12,300	0.91	12,200*	125**
4	フォトレジスト中間体	1,490	1,310	183	0.13	-	-
5	無電解メッキ	22,300	44,200	48,800	2.2	26,000*	152,000**
6	液晶	260	100	550	2.1	-	-
7	医薬中間体	2,000	1,010	184	0.092	-	-

3*) K_N:3**) TP:5*) NH₄⁺:5**) PO₄³⁻

成分は、無機系物質および有機系物質により処理方法が異なる。

無機系物質は、酸化還元、析出、イオン交換などにより、除去するかまたは無害な物質へ変換する。

有機系物質は、その濃度により処理方法が異なる。濃厚排水は、蒸発乾固・燃焼等により固化または無害化する。比較的濃厚で生物分解性のものは、嫌気性生物を用いてメタン・炭酸ガスへ変換する。低濃度排水は、好気性微生物を用いて炭酸ガスへ変換する。生物難分解性有機系物質は、生物分解性へ改質したのち、微生物を用いて処理す

る。また、通常の微生物では分解が困難な物質でも、特殊な微生物を育種することにより、その微生物により分解処理が可能となる。

3. 生物学的処理プロセスの概要とその導入における留意事項

3.1 基本プロセス

微生物を用いた排水処理プロセスは、その種類および培養法(反応槽の種類、本特集号「生物学的排水処理の基本原則とプロセス」の表(5頁)を参照)により、次のように分類される。

表2 排水処理の原理と要素技術

類別	原理	要素技術
物理法	粒子径	ろ過, 膜分離
	密度	沈降, 浮上
	熱	乾燥, 蒸発乾固, 冷凍乾燥
	磁気	磁気分離
	電磁波	超音波, マイクロ波, 紫外線
物理化学法	表面電荷	凝集
	溶解度	析出, 溶媒抽出
	吸着	固定
	イオン交換	固定
	電気分解	酸化還元
	浸透圧	透析
化学法	中和	中和
	酸化	薬剤, 電解, 燃焼, 液中燃焼, 湿式酸化
	還元	還元析出, 乾留
生物法	好気性微生物	活性汚泥, 散水ろ床
	嫌気性微生物	嫌気性消化, UASB
	植物	植物栽培

有機系物質の分解やその増殖に酸素を必要とする微生物を用いる好気性生物処理と、酸素を必要としない微生物を用いる嫌気性生物処理に分けられる。また、適用する微生物を反応槽の水中に浮遊状態で保持する浮遊型処理法と微生物を担体に付着保持する付着型処理法に分けられる。

好気性生物処理において、浮遊型の代表的なも

のに活性汚泥法、付着型として接触曝気法などがある。

今日、浮遊型反応槽に微生物担体を10~20%程度充填すること（浮遊型・付着型併用）により、微生物を高濃度に保持して反応槽のコンパクト化あるいは特殊な物質を効率的に分解できる微生物種を反応槽内に保持する手法が普及している。

生物処理では、汚濁物質を微生物に摂取させて無害な物質に代謝分解するが、その際に微生物が増殖するため、この増殖した微生物（余剰汚泥）の抜き取りとその処理・処分が必要である。最近、余剰汚泥を減量化する方法として、汚泥基質活性化汚泥法など¹²⁾が開発されている。

生物処理の基本プロセスは、生物反応を行う反応槽と微生物と処理水を分離する固液分離槽から構成される。固液分離法として、沈降分離、ろ過分離、浮上分離が代表的なものである。

ろ過分離にはろ過膜が用いられ、その膜モジュールには平膜型、チューブラー型、中空糸型などがある。

3.2 生物反応槽の設計因子と操作因子

浮遊型反応槽を設計・操作する上で重要な因子は、微生物（汚泥）Xが汚濁物質Sを除去する速度（汚泥負荷） $[kg-S/kg-X/d]$ である。この因子から排水量Q $[m^3/d]$ とその汚濁物質濃度に応じて、反応槽内に保持する微生物量X $[kg]$ が求まり、その最適微生物濃度X/V $[kg-X/m^3]$ から反応槽容積V $[m^3]$ が決定される。ここで排水の反応槽での滞留時間（反応時間）は $HRT = 24V/Q [h]$ となる。生物は汚濁物質を摂取して

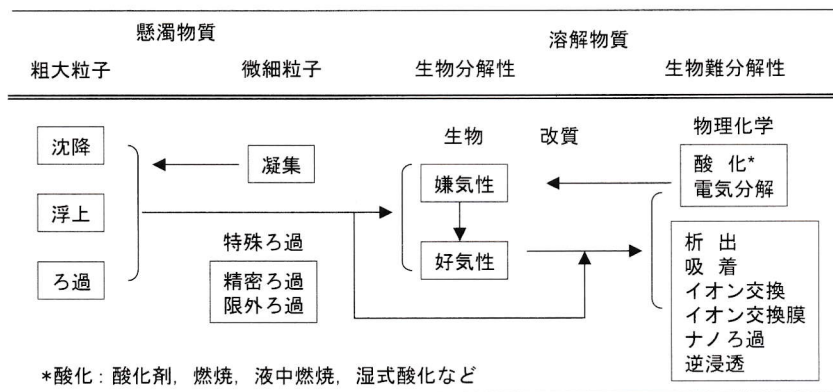


図1 排水処理プロセスの計画

増殖するの
出する。処理
-X/d) を考
SRT [d] =
微生物濃度
SRT などは
操作因子の
嫌気性菌など
方式、余剰汚
生活系排水に
験的に求め
ては個々の掛
求めなければ
一般的に、
システムの移
が、反応槽か
や膨化の原理
し、汚泥の蓄
3.3 微生物
化学工業排
芳香族系、重
生物易分解性
ある。通常の
の化合物を分
利用できる
造工程排水に
ある。この育
が、1年程度
例を図2に示
3.4 微生物
化学工業排
特殊な微生物
に保持できる
の材質には合
形状には格子
ど、サイズを
させて利用す
表面や網目構
包括させるも
担体を用い
度の遅い微生
る。しかし、
を制御でき

曝気法などが
を10~20%程
用)により、
コンパクト化
できる微生物
している。
に摂取させて
際に微生物が
(余剰汚泥)
である。最近、
汚泥基質化活

増殖するので、余剰汚泥 X_e [kg-X/d] として排出する。処理水とともに流出する微生物量 X_o [kg-X/d] を考慮すると、反応槽内の汚泥滞留時間 SRT [d] = $X / (X_e + X_o)$ となる。

微生物濃度、汚泥負荷、余剰汚泥量、処理水質、SRTなどは相互に関係している。各設計因子・操作因子の値は、適用する微生物種（好気性菌、嫌気性菌など）、処理設備の設置面積、固液分離方式、余剰汚泥発生量などを考慮して決定する。生活系排水については、諸因子の値が実験的・経験的に求められている¹³⁾が、工業系排水については個々の排水に対して各因子の値を実験により求めなければならない。

一般的に、SRTを長く取ると汚泥負荷が低く、システムの稼働が安定し余剰汚泥量も少なくなるが、反応槽が大きくなることに加え、汚泥の老化や膨化の原因となる増殖速度の遅い細菌が増殖し、汚泥の凝集・沈降性(SVやSVI)が悪くなる。

3.3 微生物の育成

化学工業排水中の有機化合物には、脂肪族系、芳香族系、窒素・ハロゲン化合物系などがあり、生物易分解性から生物難分解性のものまで様々である。通常の微生物では難分解性の物質でも、その化合物を分解できる天然界に存在する微生物を利用することも多い。その場合には、新規な製造工程排水に対応できる微生物を育成する必要がある。この育成には、数ヶ月の馴致が必要であるが、1年程度の馴致期間を要することもある。事例を図2に示す。

3.4 微生物担体

化学工業排水には、その化学組成に適応した特殊な微生物を用いるので、その微生物種を高濃度に保持できる担体を使用するケースが多い。担体の材質には合成樹脂、天然繊維、炭素など、その形状には格子、筒、板、布、網、ひも、塊、粒など、サイズも様々で、反応槽内に固定または流動させて利用する。微生物を保持する方法も、担体表面や網目構造内に付着させるものと担体内部に包括させるものがある。

担体を用いる特徴は、長いSRTにより増殖速度の遅い微生物を反応槽内に保持できることである。しかし、浮遊型反応槽のように自在にSRTを制御できない。

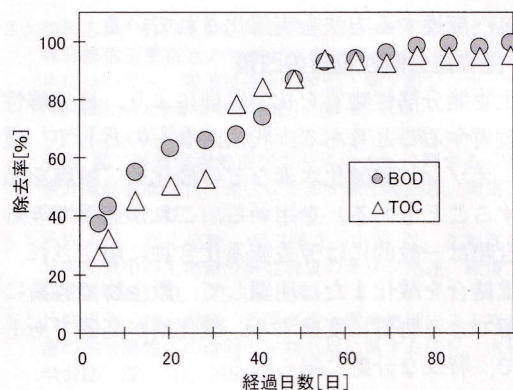


図2 化学工業排水の活性汚泥の育成事例

スペシャリティケミカル工場の総合排水を本研究室で培養している活性汚泥に適用した。排水組成(年平均, mg/l): BOD 24,000, COD 6,700, TN 3,800。原水を20倍希釈し、リン酸塩添加, HRT 24時間, MLSS 3,000~4,000mg/l, SRT 30日で運転した。

3.5 窒素・リン・ミネラル元素

汚濁物質を微生物で処理する場合には、炭素源以外に、窒素・リン・ミネラル元素(Mg, K等)が必要である。炭素・窒素・リンの質量比は100:5:1が最適である。上記元素が不足する場合には、その不足元素を添加する必要がある。化学工業排水には、上記元素が含まれていない事例が多いので、特に注意する。

3.6 窒素化合物の除去

化学工業排水には、有機窒素化合物やアンモニア・硝酸塩などの窒素化合物が含まれることが多い。有機窒素化合物は、まず、アンモニアにまで酸化分解する。アンモニアは、硝化菌により硝酸イオンへ酸化したのち、硝酸還元菌により窒素ガスへ変換する。還元反応には、水素供与体として有機物が必要である。

有機物が共存する場合には、反応槽を間欠曝気するか、あるいは無酸素槽と曝気槽を循環する方法で除去する。有機物が不足する場合には、メタノール等の有機物を無酸素槽へ添加する。有機物酸化菌に比べて、硝化菌は増殖速度が遅く水温の影響を受けるので、SRTを長くする($SRT \geq 1/\mu$; μ は硝化菌の比増殖速度)。

アンモニア量が有機物量に比べて格段に多い場合には、アルカリ性で気化したのち排ガス脱硝法により窒素ガスへ変換する。アンモニアを部分亜硝酸化-ANAMMOX法により生物学的に窒素

ガスへ変換する方法も実用化されている。

3.7 生物難分解性物質の改質

生物難分解性物質を化学処理により、易分解性へ改質することもある。代表的なものとして、塩素、オゾン、過酸化水素などの酸化剤（触媒を添加することもある）を用いる。これが適用できる化合物は一般的には芳香族系化合物に限定され、二重結合を酸化または開環して、微生物で容易に分解できる物質に変換する。酸化剤が高価であるので、特殊な分野に限られる。

4. 維持管理

処理設備の維持管理には、ハードとソフトの両面での管理がある。ここでは、ソフト面での主な留意点を述べる。

4.1 負荷変動

昼夜24時間稼働の製造工程では、排水組成とその量に変動はない。しかし、多くの事業所では、複数の製造工程があり、それぞれ昼夜の稼働時間が異なる。また、回分式の製造工程の場合には、一時的に排水が生じる。また、週・月・季節単位で、製品が異なる製造工程も少なくない。このように、排水の組成と量の変動が極めて複雑に変化する事例も少なくない。

適正な処理効果を上げるために、排水貯留タンクを設けて、処理設備への負荷変動を抑制することが重要である。また、大きな貯留タンクでは、深さ方向や水平方向に濃度や温度による密度差が生じて混合が阻害されるので、攪拌設備が必要となる。

4.2 汚泥管理

有機物を微生物で処理すると、汚濁物質を摂取して微生物が増殖し、余剰汚泥が発生する。生物反応槽内の増殖微生物（余剰汚泥）の抜き取りは、適正な処理性能を維持する上で、極めて重要な事項である。

4.3 異常対策

生物システムでは、汚泥の外観の変化、異臭の発生、異常発泡、汚泥の膨化、汚泥の解体、有機物の除去機能の低下などが起こる。異常の程度が進行すると、回復に時間を要するので、早く察知して速やかに処置することが重要である。

異常発泡は、界面活性剤と放線菌が主な原因で

ある。放線菌は粘性で疎水性の強いミコール酸を分泌し、これが気泡に付着して安定な気泡を形成する。

汚泥膨化には汚泥そのものが膨化する粘性膨化と糸状微生物の増殖による糸状膨化があり、汚泥の沈降・圧密性が悪化する。粘性膨化は、窒素やリンが不足すると発生しやすい。塩素、オゾン、過酸化水素のほか、特殊な薬剤を用いる方法があるが、添加量には注意を要する。管路や曝気槽・沈殿槽の不具合による汚泥堆積により有機酸や硫化水素が発生すると、糸状菌が発生しやすくなる。また、糸状菌の比増殖速度の逆数を越えた長いSRTで運転する処理系では、糸状菌が増殖して膨化が起こりやすくなる。曝気槽の前段部分を無曝気・嫌気状態にしたり、間欠曝気により糸状細菌の増殖を抑制する方法もある。汚泥膨化の緊急対策として、凝集剤や凝集助剤の添加により沈降・圧密性の改善を図ることもある。

汚泥の解体は、フロックが分散し微細な汚泥が多くなる現象である。これは、過大な曝気によるフロックの解体、BOD汚泥負荷の過少、pHの低下、阻害物質の混入、汚水組成の急激な変化等により発生する。

沈殿槽での汚泥浮上は、硝酸塩の還元により発生した窒素ガスによるものと汚泥かき寄せ機の不具合により蓄積した汚泥の腐敗により発生するメタン・二酸化炭素ガスによるものがある。前者は、放水または機械的に破碎する。また、返送汚泥量を増加して、沈殿槽内の汚泥滞留時間を短縮する。スカムが黒色で硫化水素・アンモニア臭がする場合には、汚泥堆積による腐敗が進行しているので、汚泥かき寄せ機の点検・修理を行う。

5. 処理設備の増設や更新

生産設備の増強による負荷増加には、既設の反応タンクへ微生物担体を充填し、微生物の保持量を増加するとともに、曝気設備を増設することで対応できることもある。これを越える負荷増加に対しては、処理施設設備の増設が必要になる。

老朽化に伴う処理設備の更新の場合には、現状および今後の生産計画や市場動向を踏まえて、新設備の計画を立てる。また、新規生産設備の規模が大きく、新たな処理設備が必要なこともある。

大幅な増設の
いで全く新た
に対して、現
的なコスト前

おわりに

化学工業が
その性状が種
間連続稼働、
産工程など、
少なくない。
変化のないも
変化による製
これらの排
備の運転管理
技術の導入な
することが大

- 1) 村上定暉、
業(中小企
野関連工業
術の実用化
- 2) 竹内正美、
プロセス監
(8)、513-5

募集案内

(独)科学技
進事業(CI
度第2期の

応募締切:

CREST

さが

ニコール酸を
な気泡を形成
する粘性膨化
があり、汚泥
化は、窒素や
素、オゾン、
る方法があ
各や曝気槽・
有機酸や硫
やすくなる。
超えた長い
が増殖して
前段部分を無
により糸状細
膨化の緊急
添加により沈

大幅な増設の場合には、まず、既存設備を考えないで全く新たな設備を計画する。次に、この計画に対して、現有設備を有効利用することで、効果的なコスト削減が可能となる。

おわりに

化学工業から排出される排水は、事業所によりその性状が様々に異なる。また、製造工程の24時間連続稼働、夜間休止、季節的な稼働、回分式生産工程など、排水量とその組成が変動することも少なくない。また、汎用製品で長年に亘り比較的变化のないものから、少量多品種で社会ニーズの変化による製品の変遷が激しい分野もある。

これらの排水を効率よく処理するには、処理設備の運転管理の工夫から、設備の増設・改善や新技術の導入など、総合的に処理設備を計画・管理することが大切である。

参考文献

1) 村上定瞭, 他;平成11年度中小企業創造基盤技術研究事業(中小企業総合事業団)研究成果報告書「ハイテク分野関連工業からの難分解性有機化合物含有排水の処理技術の実用化研究」, 82, 平成12年2月。
2) 竹内正美, 村上定瞭, 北尾高嶺;ポリ塩化ビニール製造プロセス廃液の処理に関する研究, 水環境学会誌, 21, (8), 513-519,1998.

3) 加納志保, 竹内正美, 村上定瞭;ハイテク分野における難分解性工業排水の処理技術の開発-ABS樹脂製造廃水について-, 環境技術研究協会・第7回シンポジウム「環境用水の汚濁とその浄化」, 58-61, 2000。
4) 竹内正美, 深川勝之, 品川恵美子, 村上定瞭, 浮田正夫, 中西 弘;写真廃液処理プロセスの開発に関する研究-膜分離高濃度活性汚泥法による1次生物処理, 衛生工学研究論文集, 27, 183-193, 1991。
5) 竹内正美, 村上定瞭, 深川勝之, 中西 弘, 北尾高嶺;写真廃液中の生物難分解性物質のオゾン処理, 環境工学研究論文集, 30, 175-186, 1993。
6) 竹内正美, 村上定瞭, 北尾高嶺;電解処理による写真廃液の生分解性への改質と生物処理に関する研究, 水環境学会誌, 22, (4), 313-319, 1999。
7) 宮崎英男;写真処理廃液の各種無害化処理方法-焼却処理以外の方法について-, 日本写真学会誌, 63, (1), 28-35, 2000。
8) 村上定瞭, 竹内正美, 三浦美紀, 谷口 稔;電解・生物法による半導体用フォトレジスト原料製造工程廃液の処理, 環境技術, 29, (3), 207-214, 2000。
9) 堤 智子, 竹内正美, 村上定瞭;電子・情報産業における無電解メッキ廃液の処理工程の開発, 第13回水環境フォーラム山口, 1-6, 1998。
10) 中尾光昭, 竹内正美, 村上定瞭;液晶廃液の処理, 第5回高専シンポジウム講演要旨集, 9, 2000。
11) 加納志保, 竹内正美, 村上定瞭;オゾン・生物法による医薬中間体製造廃水の処理, 第5回高専シンポジウム講演要旨集, 7, 2000。
12) 環境技術学会;特集「汚泥減量化技術とコストダウン」, 環境技術, 36, (5), 313-356, 2007。
13) 日本下水道協会;下水道施設計画・設計指針と解説, 39-42, 2001。

微細な汚泥が
曝気による
少, pHの低
量な変化等に
量元により発
き寄せ機の不
り発生するメ
ある。前者は,
返送汚泥量
を短縮する。
ア臭がする場
ているので,

募集案内

(独) 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 平成 20 年度研究提案の募集開始

(独) 科学技術振興機構 (JST) の戦略的創造研究推進事業 (CREST, さきがけ) において、平成 20 年度第 2 期の研究提案募集が開始された。

詳細: 募集案内ホームページ (募集要項のダウンロードが可能)

<http://www.jst.go.jp/kisoken/teian.html>

問い合わせ先: (独) 科学技術振興機構 (JST)

研究領域総合運営部・研究推進部

(募集専用) E-mail: rp-info@jst.go.jp

(募集専用) TEL 03-3512-3530

応募締切:

CREST: 平成 20 年 5 月 15 日 (木) 正午厳守

さきがけ: 平成 20 年 5 月 13 日 (火) 正午厳守

は、既設の反
主物の保持量
設することで
る負荷増加に
要になる。
合には、現状
蓄まえて、新
産設備の規模
こともある。