

「有害化学物質リスク削減基盤技術研究開発」
(事後評価)分科会
資料5-1

「有害化学物質リスク削減基盤技術研究開発」

事業原簿(公開)

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境技術開発部
-----	------------------------------------

—目次—

概 要

プロジェクト用語集

I. 事業の位置付け・必要性について	
1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性	I-1
1.1 NEDOが関与することの意義	I-1
1.2 実施の効果（費用対効果）	I-2
2. 事業の背景・目的・位置づけ	I-9
II. 研究開発マネジメントについて	
1. 事業の目標	II-1
2. 事業の計画内容	II-1
2.1 研究開発の内容	II-1
2.2 研究開発の実施体制	II-4
2.3 研究開発の運営管理	II-4
3. 情勢変化への対応	II-11
4. 中間評価結果への対応	II-13
5. 評価に関する事項	II-19
III. 研究開発成果について	
1. 事業全体の成果	III. 1-1
2. 研究開発項目毎の成果	III. 1-15
IV. 実用化、事業化の見通しについて	IV-1
（実用化の見通しについて）	

（添付資料）

- ・イノベーションプログラム基本計画
- ・プロジェクト基本計画
- ・技術戦略マップ（技術戦略マップ2008、技術戦略マップ2009）
- ・事前評価関連資料（事業の概要、スケジュール、事前評価書、パブリックコメント募集の結果）
- ・成果要約集（研究発表・講演、発表論文、特許等、受賞実績、新聞発表）

概 要

作成日	2009年12月3日
-----	------------

プログラム（又は施策）名	環境安心イノベーションプログラム		
プロジェクト名	有害化学物質リスク削減基盤技術研究開発	プロジェクト番号	P04012
担当推進部/担当者	<p>担当推進部</p> <p>2004.4-2005.9 環境技術開発部 化学物質管理技術グループ</p> <p>2005.10-2008.7 バイオテクノロジー・医療技術開発部 化学物質管理技術グループ</p> <p>2008.8-現在 環境技術開発部 環境化学グループ</p> <p>担当者</p> <p>グループ長 傘木 和俊 2004.4-2005.4 主査 浅子 洋一 2006.4-2009.6</p> <p>主任研究員 大橋 敏二郎 2004.4-2005.3 主査 磯部 光利 2007.4-2007.10</p> <p>主任研究員 山下 勝 2004.4-2009.8 主査 島山 靖彦 2007.4-2009.3</p> <p>主査 河中 裕文 2004.4-2006.3 主査 弘田 吉祐 2007.7-現在</p> <p>主査 新原 敏夫 2004.4-2007.3 主査 鈴木 毅之 2009.4-現在</p> <p>主査 井出本 穰 2004.7-2008.7 主査 新井 唯 2009.4-現在</p> <p>主査 鳥羽 裕一郎 2005.4-2007.3</p>		
0. 事業の概要	<p>人の健康や生態系へのリスクが懸念されるPRTR（環境汚染物質排出移動登録制度）対象化学物質について優先的に削減すべき有害な化学物質の順位付けを行い、これらの化学物質の中でエンドオブパイプやインプラント等において効率的に削減が可能となる回収、無害化、代替物質生産、代替プロセス等に関する実用化基盤技術を開発する。これらの実用化基盤技術は、汎用性が高く、かつ、安価で多くの中小事業者等でも導入可能な技術として広く社会に普及、波及することが期待される。</p>		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>一旦、環境中に排出されてしまった化学物質を回収、無害化処理するには莫大なコストが掛かってしまい、産業界が単独で対応することは非常に困難である。このため、従来から事業者によって進められてきた自主的な化学物質管理を一層促進するため、リスクが懸念される化学物質を、中小企業を含む事業所等が自主的に回収、無害化処理できる新しい技術を国が主体となって開発し、早期の導入・普及を促進することにより有害化学物質の速やかな削減を図りながら、事業者の自主管理の促進を支援することにより、環境と調和した健全な経済産業活動と安全、安心な国民生活に資する。</p>		
II. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p>人の健康や生態系への影響などが懸念されるPRTR対象化学物質について削減順位付けを行い、これらの化学物質のリスク削減に資する回収、無害化、代替物質生産技術、代替プロセス等以下の研究開発課題に関する実用化基盤技術を平成20年度までに確立することを目標とする。</p> <p>①インプラント技術：削減対象物質を用いないプロセスへの新規転換技術、及び新規代替物質の開発等</p> <p>②エンドオブパイプ技術：回収、排出抑制、無害化等により、環境への排出量の削減率90%以上（回収率×無害化率）を達成できる新規削減技術</p> <p>③その他：効率的なリスク削減が可能となる新たな技術（システム、ソフト）の開発</p> <p>本研究開発では、工場等から大気、河川に排出される削減対象物質に関するインプラント技術、エンドオブパイプ技術等について研究開発テーマ毎に削減率、汎用性、低コスト等の開発目標を設けて行うこととする。</p> <p>【本研究開発において対象とする化学物質】</p> <p>本研究開発における優先的に取り組む削減対象物質は(1)PRTR制度による国への届出対象物質(点源)から上位20物質、(2)PRTR制度により国が推計した対象物質(非点源)から上位10物質(但し、(1)の重複物質を除く)とする。具体的な化学物質は下記のとおり。</p> <p>(1) PRTR制度による国への届出対象物質（工場等の固定発生源）：</p> <p>1)トルエン 2)ベンゼン 3)フェノール 4)キシレン 5)1,2-ジクロロエタン 6)フタル酸ビス(2-エチルヘキシル) 7)エチルベンゼン 8)アニリン 9)塩化ビニル 10)塩化メチレン 11)クロロホルム 12)スチレン 13)有機スズ化合物 14)トリクロロエチレン 15)テトラクロロエチレン 16)ニトロベンゼン 17)N,N-ジメチルホルムアミド 18)アクリロニトリル 19)エチレンオキシド 20)四塩化炭素</p> <p>(2) PRTR制度により国が推計した対象物質（移動体、家庭等からの排出）：</p> <p>1)フタル酸ジ-N-ブチル 2)P-ジクロロベンゼン 3)リン酸トリ-n-ブチル 4)2-アミノエタノール 5)ホルムアルデヒド 6)リン酸トリス(2-クロロエチル)</p>		

	7)臭化メチル 8)直鎖アルキルベンゼンスルホン酸及びその塩 9)ビスフェノールA 10)アセトアルデヒド						
事業の計画内容	主な実施事項	H16fy	H17fy	H18fy	H19fy	H20fy	
	インプラント技術の開発	←		中間評価			→
	エンドオブパイプ技術の開発	←					→
	システム・ソフト技術の開発		←				→
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円)	会計・勘定	H16fy	H17fy	H18fy	H19fy	H20fy	総額
	一般会計	197	403	749	554	367	2,270
	特別会計 (電多・高度化・石油の別)	-	-	-	-	-	-
	総予算額	197	403	749	554	367	2,270
開発体制	経産省担当原課	産業技術環境局環境政策課環境指導室					
	プロジェクトリーダー	各テーマで NEDO が指名 (別紙参照)					
	委託先 (*委託先が管理法人の場合は参加企業数も記載)	<p>平成 16 年度採択テーマ 3 件、追加採択テーマ 1 件 A-(1) (株)西部技研 A-(3) (財)産業創造研究所、東洋インキエンジニアリング(株)、岩尾磁気工業(株) A-(4) (株)REO 研究所、(独)産業技術総合研究所(追加採択) B-(1)昭和電工(株)、(独)産業技術総合研究所</p> <p>平成 17 年度採択テーマ 3 件 A-(2)エンバイロメント・テクノロジー・ベンチャーズ(株)、(独)産業技術総合研究所 B-(2)日本ペイント(株) C-(1)ダイヤリサーチマーテック(株) (現社名：(株)三菱化学テクノリサーチ)、(株)三菱総合研究所、(独)産業技術総合研究所</p> <p>平成 18 年度採択テーマ 4 件 A-(5)イマジニアリング(株) A-(6) (株)タツノ・メカトロニクス、(独)産業技術総合研究所 A-(7)JFE ソルデック(株) B-(3) (株)創研(現社名：シルバー精工(株))</p> <p>平成 19 年度採択テーマ 2 件 B-(4) (株)ケミクレア、(独)産業技術総合研究所 B-(5)加美電子工業(株)、(独)産業技術総合研究所</p> <p>記号の説明 A:エンドオブパイプ技術、B:インプラント技術、 C:システム・ソフト技術 再委託先については別紙参照</p>					
情勢変化への対応	<p>平成 16 年度 (初年度) 採択テーマは、VOC に対する緊急対応という観点から、エンドオブパイプ技術開発を先行させた。平成 16 年大気汚染防止(大防法)法改正 (平成 18 年施行)に伴う、平成 22 年 VOC30%削減目標 (平成 12 年度比) のうち、自主削減分 20%に資する。</p> <p>平成 17 年度 (2 年度目) は、抜本的な問題解決が図れるインプラント技術の開発に注力した。また、システム技術の開発にも取り組んだ。一方、平成 17 年度のエンドオブパイプ技術の採択については、既存技術に比べ、顕著な削減効果(回収・再利用)が期待できるテーマに限って、公募、採択した。</p> <p>平成 18 年度及び平成 19 年度 (3 年度目、4 年度目) は、平成 17 年度 (2 年度目) 同様に、抜本的な問題解決が図れるインプラント技術の開発に注力した。また、平成 18 年度及び平成 19 年度のエンドオブパイプ技術の採択については、既存技術に比べて、大幅なコスト削減、未着手法分野、顕著な波及成果等が期待できるテーマに限って、公募、採択した。</p> <p>平成 19 年度以降は、平成 18 年度に行われた中間評価の結果に基づき、自主点検を強化して、ターゲット市場の明確化、既存技術との比較検討による優位性の明確化、トータルコスト低減を重視した実用化への取組み、リスク削減の定量化、成果の実用化、導入・普及が円滑に実施できるよう取り組んだ。</p>						

<p>中間評価結果への対応</p>	<p>中間評価結果は「おおむね現行どおり実施して良い」との評価。 中間評価での重要な指摘事項については、対処方針が策定され、平成19年度以降、適宜実施方針並びに実施計画に反映して推進されている。 主な指摘事項に対する平成19年度以降の対応を以下に記す。PDCA（Plan 計画-Do 実行-Check 評価-Act 改善）サイクルを回すと共に、技術検討委員会・現地委員会を点検の場とした。 <実用化の体制の具体化> 実用化の体制が十分でないテーマについて、市場ターゲットを明確にし、成果が見込める計画に変更した。主としてエンドオブパイプ技術研究開発。 <既存技術との比較検討による優位性の明確化> 狙う市場、既存の競争技術との比較・検討について取り組みが不十分であったテーマについて、詳細検討を行い、実施計画の一部修正（絞り込み、戦略作成）を行った。主としてエンドオブパイプ技術研究開発。 <トータルコスト低減を重視した実用化への取り組み> 初期投資・ランニングコストを含めたトータルコスト低減に向けたシナリオを作成した。主としてエンドオブパイプ技術研究開発。 <リスク削減の定量化> 主としてインプラント技術研究開発について、代替化によるリスク削減への寄与の検証を、成果物（装置、製品等）により確認する計画に変更した。 <適切なマイルストーンの設定> 全体について、「研究開発終了後の姿」、「実用化シナリオ」を明確にし、早期の実用化が図れるように、マイルストーンの設定やスケジュール管理を徹底した。</p>															
<p>評価に関する事項</p>	<table border="1"> <tr> <td>事前評価</td> <td>平成16年度</td> <td>NEDO POST2にて実施</td> <td>担当部</td> <td>環境技術開発部</td> </tr> <tr> <td>中間評価</td> <td>平成18年度</td> <td>中間評価実施</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>事後評価</td> <td>平成21年度</td> <td>事後評価実施予定</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	事前評価	平成16年度	NEDO POST2にて実施	担当部	環境技術開発部	中間評価	平成18年度	中間評価実施			事後評価	平成21年度	事後評価実施予定		
事前評価	平成16年度	NEDO POST2にて実施	担当部	環境技術開発部												
中間評価	平成18年度	中間評価実施														
事後評価	平成21年度	事後評価実施予定														
<p>Ⅲ. 研究開発成果について</p>	<p>A-（1）：吸着エレメントとプラズマを組合わせた難処理有害化学物質除去の研究開発 委託先：西部技研 吸着ハニカムを内蔵する吸着プラズマ分解素子で、VOCをプラズマ分解と触媒エレメントにより分解する技術。VOCガスを連続的に処理する連続式プラズマ分解方式により、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、ベンゼン、トルエン、キシレン、エチルベンゼン、エチレンオキシドは入口濃度100ppmまで、分解率90%を達成した。一方、数百m³/時間を超える大風量の希薄VOCの処理に関しては、VOCガスを一旦装置内に吸着濃縮してバッチ処理する、バッチ式プラズマ分解方式により、トルエン等で入口濃度100ppmまで分解率90%を達成した。接着工場、塗装ブース等に連続式実証試験機を設置し、VOC分解性能並びに耐久試験を実施した。電源および電極の耐久性不足が問題になったが、改良開発により1年以上の耐久性能を確保した。</p> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="496 1243 719 1960"> <p>A-（1） 吸着エレメントとプラズマを組合わせた難処理有害化学物質除去の研究開発</p> </td> <td data-bbox="719 1243 895 1960"> <p>【削減物質】 ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、エチレンオキシド、トルエン、キシレン、ベンゼン、エチルベンゼン</p> <p>【実用化イメージ】 [連続式プラズマ分解装置] 50~1200m³/時間 吸着困難なVOC及び100ppm以下の汎用VOC [バッチ式プラズマ分解装置] 1200~12000m³/時間 100ppm以下の汎用VOC</p> <p>【分野・プロセス】 印刷、塗装 化学工業 医療</p> </td> <td data-bbox="895 1243 1102 1960"> <p>【開発目標】 吸着剤を担持したハニカム吸着エレメントでVOCを吸着濃縮し、プラズマで分解無害化する装置の開発。</p> <p>[分解率] 連続式プラズマ分解・バッチ式プラズマ分解VOC50ppmにて分解率90%以上、風量100m³/時間</p> <p>[プロセス開発、装置開発] 装置試設計 電源および電極の耐久試験1年</p> </td> <td data-bbox="1102 1243 1310 1960"> <p>【成果】 [連続式] ホルムアルデヒド、トルエン等は100ppmまで分解率90%。 [バッチ式] トルエン等で100ppmまで分解率90%。 [プロセス開発、装置開発] 接着工場、塗装ブース等に連続式実証試験機を設置し、VOC分解性能並びに耐久試験を実施した。電源および電極の耐久性不足が問題になったが、改良開発により1年以上の耐久性能を確保した。装置試設計を完了。ランニングコストについては100ppm未満のVOCで優位性。</p> </td> <td data-bbox="1310 1243 1469 1960"> <p>A-（1）達成実証試験フェーズ 電極・絶縁材の更なる耐久性向上。技術の普及は今後の需要による。</p> </td> </tr> </table> <p>A-（2）：直接加熱式VOC吸着回収装置の研究開発 委託先：エンバイロメント・テクノロジー・ベンチャーズ・産業技術総合研究所 スチーム源、水処理設備などの付帯設備が不要な吸着回収装置とし、VOC除去効率90%以上、3~10m³/分規模のVOC吸着回収装置の開発を目的とし、不燃性VOC（ト</p>	<p>A-（1） 吸着エレメントとプラズマを組合わせた難処理有害化学物質除去の研究開発</p>	<p>【削減物質】 ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、エチレンオキシド、トルエン、キシレン、ベンゼン、エチルベンゼン</p> <p>【実用化イメージ】 [連続式プラズマ分解装置] 50~1200m³/時間 吸着困難なVOC及び100ppm以下の汎用VOC [バッチ式プラズマ分解装置] 1200~12000m³/時間 100ppm以下の汎用VOC</p> <p>【分野・プロセス】 印刷、塗装 化学工業 医療</p>	<p>【開発目標】 吸着剤を担持したハニカム吸着エレメントでVOCを吸着濃縮し、プラズマで分解無害化する装置の開発。</p> <p>[分解率] 連続式プラズマ分解・バッチ式プラズマ分解VOC50ppmにて分解率90%以上、風量100m³/時間</p> <p>[プロセス開発、装置開発] 装置試設計 電源および電極の耐久試験1年</p>	<p>【成果】 [連続式] ホルムアルデヒド、トルエン等は100ppmまで分解率90%。 [バッチ式] トルエン等で100ppmまで分解率90%。 [プロセス開発、装置開発] 接着工場、塗装ブース等に連続式実証試験機を設置し、VOC分解性能並びに耐久試験を実施した。電源および電極の耐久性不足が問題になったが、改良開発により1年以上の耐久性能を確保した。装置試設計を完了。ランニングコストについては100ppm未満のVOCで優位性。</p>	<p>A-（1）達成実証試験フェーズ 電極・絶縁材の更なる耐久性向上。技術の普及は今後の需要による。</p>										
<p>A-（1） 吸着エレメントとプラズマを組合わせた難処理有害化学物質除去の研究開発</p>	<p>【削減物質】 ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、エチレンオキシド、トルエン、キシレン、ベンゼン、エチルベンゼン</p> <p>【実用化イメージ】 [連続式プラズマ分解装置] 50~1200m³/時間 吸着困難なVOC及び100ppm以下の汎用VOC [バッチ式プラズマ分解装置] 1200~12000m³/時間 100ppm以下の汎用VOC</p> <p>【分野・プロセス】 印刷、塗装 化学工業 医療</p>	<p>【開発目標】 吸着剤を担持したハニカム吸着エレメントでVOCを吸着濃縮し、プラズマで分解無害化する装置の開発。</p> <p>[分解率] 連続式プラズマ分解・バッチ式プラズマ分解VOC50ppmにて分解率90%以上、風量100m³/時間</p> <p>[プロセス開発、装置開発] 装置試設計 電源および電極の耐久試験1年</p>	<p>【成果】 [連続式] ホルムアルデヒド、トルエン等は100ppmまで分解率90%。 [バッチ式] トルエン等で100ppmまで分解率90%。 [プロセス開発、装置開発] 接着工場、塗装ブース等に連続式実証試験機を設置し、VOC分解性能並びに耐久試験を実施した。電源および電極の耐久性不足が問題になったが、改良開発により1年以上の耐久性能を確保した。装置試設計を完了。ランニングコストについては100ppm未満のVOCで優位性。</p>	<p>A-（1）達成実証試験フェーズ 電極・絶縁材の更なる耐久性向上。技術の普及は今後の需要による。</p>												

トリクロロエチレン等)の吸着回収用に繊維状活性炭通電加熱方式、可燃性VOC(トルエン等)の吸着回収用に専用吸着剤+マイクロ波・高周波加熱方式による装置の開発を進めた。3m³/分規模の不燃性VOC用吸着回収装置を試作して、トリクロロエチレン平均濃度400 ppmの脱脂工程排ガスに対して半年間の実証試験を行い、回収率90%かつ回収溶剤は再利用可能であることが確認され、装置の信頼性とシステムの実用性が実証された。また、コンパクトな装置と低ランニングコストを達成した。一方、可燃性VOC用回収装置に関しては、処理能力1m³/分にて回収率93%を達成し、実用可能性を確認した。磁性体のキュリー一点制御技術を世界で初めて回収装置の温度制御に適用した。現在、処理風量50m³/分までの大型化の可能性を検証中である。

<p>A-(2) 直接加熱式 VOC 吸着回収装置の研究開発</p>	<p>[削減物質] トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ジクロロメタン、トルエン、キシレン</p> <p>[実用化イメージ] [不燃性 VOC 吸着回収装置] 処理風量 3~10m³/分 [可燃性 VOC 吸着回収装置] 処理風量(平均) 50m³/分</p> <p>[分野・プロセス] [不燃性 VOC 吸着回収装置] 金属加工業(洗浄工程) [可燃性 VOC 吸着回収装置] 印刷、塗装の乾燥工程、化学工業の反応溶媒除去</p>	<p>[開発目標] VOC 吸着回収における溶剤加熱脱離工程を、スチームを用いずに電磁場のエネルギーを用いて行う、小型、低コスト、高効率な装置の開発とモニタリング技術の開発。</p> <p>[回収率] VOC 回収率 90%以上 ※不燃性 VOC: 3~10m³/分 VOC 吸着回収装置 ※可燃性 VOC: 1m³/分、実用可能性確認 [不燃性 VOC 吸着回収装置試設計] 回収溶剤再利用 [回収装置支援ソフト開発] リアルタイムモニタリングによる運転管理と溶剤管理ソフト</p>	<p>[成果] [不燃性 VOC] 3 m³/分規模の回収装置を試作、脱脂工程排ガスで実証試験を行い、回収率90%、回収溶剤は再利用可能。 [可燃性 VOC] 1m³/分にて回収率 93%、実用可能性を確認した。風量 50m³/分の大型化の可能性を検証中。 [不燃性 VOC 吸着回収装置試設計] 3m³/分規模の不燃性 VOC 用吸着回収装置を試作して、トリクロロエチレン平均濃度 400 ppm の脱脂工程排ガスに対して半年間の実証試験を行い、回収率 90%かつ回収溶剤は再利用可能であることが確認され、装置の信頼性とシステムの実用性が実証された。また、コンパクトな装置と低ランニングコストを達成した。 [回収装置支援ソフト開発] 完成</p>	<p>A-(2)達成 [不燃性 VOC] 実証試験フェーズ 低コスト・コンパクト化を達成(自主研究)して、実用化に目処。</p> <p>[可燃性 VOC] 技術統合フェーズ 磁性体のキュリー一点制御技術を世界で初めて回収装置の温度制御に適用。可燃性 VOC 吸着回収装置については、自主研究により装置の実用性評価、大風量化、実用化を目指す。トルエン代替の酢酸エチルなどにも対応。</p>
--	--	---	---	---

A-(3) : 吸着相オゾン酸化による排出有害物質の完全分解処理

委託先：産業創造研究所・東洋インキエンジニアリング・岩尾磁気工業

排水中・排ガス中に溶存する有害化学物質とオゾンとをハイシリカゼオライトの細孔へ選択的に吸着させ高度に濃縮された反応場を創製することにより、小型、高性能で維持管理が容易であり、経済性に優れたPRTR対象有害化学物質分解処理装置の開発を進めた。小型カラム試験及び反応解析等を行って吸着相の仕様や装置の運転条件を検討するとともに、プロトタイプ機(排水処理装置：2m³/日、排ガス処理装置：10Nm³/時間)を試作した。トリクロロエチレン含有地下水を対象に処理実験を行い、10mg/Lレベルの高濃度排水が処理できることを確認した。排ガス処理装置については、印刷工場にて10ppm~100ppmのトルエン・キシレン含有ガスの処理実験を行い、90%以上の分解が可能であることを確認した。

実施機関解散等の理由により研究開発事業は平成18年度で終了した。

<p>A-(3) 吸着相オゾン酸化による排出有害物質の完全分解処理</p>	<p>[削減物質] ※排ガス処理 トルエン、キシレン ※排水処理 アセトアルデヒド、トリクロロエチレン</p> <p>[実用化イメージ] [排ガス処理装</p>	<p>[開発目標] VOC とオゾンとをシリカ系吸着剤に吸着・高度に濃縮して、酸化反応により VOC を分解する、小型、高性能な分解処理装置の開発。</p> <p>[分解率] VOC 分解率 90%以上</p>	<p>[成果] [分解率][プロセス開発、装置開発] 排水処理装置 2 m³/日、排ガス処理装置 10m³/時間を試作。 ※排ガス処理装置 印刷工場にて</p>	<p>A-(3)未達 研究開発事業は平成18年度で終了した(実施機関解散等)。</p> <p>吸着剤の劣化、分解副生成物、過剰オゾンの処理、吸</p>
---	--	--	---	---

	<p>置] 処理容量:10-100 m³/時間、寸法 L0.6m×W0.6m×H1.5m、処理対象濃度～100ppm</p> <p>[排水処理装置] 処理容量:2m³/日、寸法 L0.5m×W0.5m×H1.5m、処理対象濃度～10mg/L</p> <p>[分野・プロセス] [排ガス処理装置] 印刷、塗装 [排水処理装置] 繊維工業、金属加工業(洗浄工程)</p>	<p>※排ガス処理装置 10-100 m³/時間</p> <p>※排水処理装置 2 m³/日</p> <p>[プロセス開発、装置開発] 装置試設計</p>	<p>10ppm～100ppmのトルエン・キシレンの90%以上の分解を確認。</p> <p>※排水処理装置 10mg/Lトリクロロエチレン含有地下水の処理確認。</p> <p>装置試設計完了</p>	<p>着剤の再生、処理量が小さい、オゾン発生装置が高コストであること等の課題検討未着手のため、中止。</p>
--	---	---	---	--

A- (4) : マイクロバブルの圧壊による有害化学物質の高効率分解技術の開発
 委託先: REO研究所・産業技術総合研究所

マイクロバブル圧壊によるOHラジカル等の発生メカニズム及びフェノール単物質の分解を詳細に検討した。また、高濃度マイクロバブル発生・圧壊装置を開発し、マイクロバブル発生量の向上と十分な圧壊が生じることを確認した。開発した高濃度マイクロバブル発生・圧壊装置によりオゾンマイクロバブルを用いた排水処理システムを試作し、フェノール等を含む高BOD濃度の化学工場排水を分解処理し、実用レベルで処理できることを実証した。

技術検討委員会判断により研究開発事業は平成17年度で終了した。

<p>A-(4) マイクロバブルの圧壊による有害化学物質の高効率分解技術の開発</p>	<p>[削減物質] 有害化学物質-フェノール、N,N-ジメチルホルムアミド、トリクロロエチレン</p> <p>[実用化イメージ] 排水処理装置排水処理システムの設計、提案。活性汚泥法等の既存処理システムと組み合わせたシステムの提案。</p> <p>[分野・プロセス] プラスチック加工業 金属加工業(洗浄工程) 化学工業、繊維工業</p>	<p>[開発目標] マイクロバブル圧壊により発生するOHラジカル等による有害物質分解の高効率化検討、高性能で実用的な排水処理技術の開発。</p> <p>[高濃度マイクロバブル発生装置] マイクロバブルの発生効率:濃度 1000 個/mL以上 [分解率] 有害化学物質分解率 90%以上 フェノール(300ppm)、N,N-ジメチルホルムアミド(300ppm)またはトリクロロエチレン(100ppm) 排水流量 0.6m³/時間</p>	<p>[成果] [高濃度マイクロバブル発生装置] マイクロバブルの発生効率:濃度 2000 個/mL以上 [分解率] オゾンを用いた排水処理システムを試作した。フェノール等を含む高BODの化学工場排水の実用レベル処理を実証した。N,N-ジメチルホルムアミド、トリクロロエチレンについては未確認。</p>	<p>A-(4)未達 研究開発事業は平成17年度で終了(技術検討委員会判断)した。</p> <p>フェノール以外の物質の分解試験、気相系の処理試験、マイクロバブルの圧壊のメカニズム解明、マイクロバブルの効果の検証、反応工学的な検討のいずれもが未着手のため、中止。</p>
---	---	--	---	---

A- (5) : 大気圧・空気プラズマを利用した揮発性有機化合物(VOC)等の無害化装置の開発

委託先: イマジニアリング

電子レンジ用マグネトロンを用いたマイクロ波発生装置と自動車エンジン点火プラグの組み合わせで発生する大気圧・空気プラズマ技術を応用した、小型、安価、高速なVOC酸化分解無害化装置を開発した。濃度数百ppmのVOCを対象として、数千m³/時間の大風量化を目標とした。プラズマ安定発生は世界初。リアクター形状やプラズマ発生時間を最適化した試験装置により、ホルムアルデヒド96%分解(35ppm、100m³/時間)、トルエン80%分解(78ppm、60m³/時間)、ベンゼン70%分解(360ppm、16m³/時間)を達成した。ドラフトチャンバーの排気ダクトにおける排ガス処理(風量100～1000m³/時間)試験を実施したところ、要求処理風量の1/10にとどまり、大風量化には至らなかった。一方、数m³/時間の小風量では1000ppm前後の高濃度VOCを高い分解率で処理できることから、小風量にてVOCを処理する適用業種、密閉空間での循環処理に特化した用途を検討していく。

<p>A-(5) 大気圧・空気プラズマを利用した揮発性有機化合物(VOC)等</p>	<p>[削減物質] ホルムアルデヒド、トルエン、キシレン、ベンゼ</p>	<p>[開発目標] 大気圧・空気プラズマ発生システムによるVOC分解試験、VOC</p>	<p>[成果] [安定発生技術] 電子レンジ用マグネトロンを用い</p>	<p>A-(5)未達 要素技術開発フェーズ プラズマ安定</p>
--	--------------------------------------	--	--------------------------------------	----------------------------------

	<p>の無害化装置の開発</p>	<p>ン、エチルベンゼン</p> <p>[実用化イメージ] 排ガス処理装置 処理風量～60m³/時間、濃度～1000ppm、吸着困難なVOC</p> <p>[分野・プロセス] 化学工業 医療 自動車排ガス</p>	<p>を高速に分解する小型・安価な大風量処理装置の開発。</p> <p>[安定発生技術] マイクロ波と点火源による大気圧・空気プラズマ</p> <p>[分解率] 分解試験:50～60%@200ppm以下</p> <p>[大風量化装置開発] 1500-30000m³/時間</p>	<p>たマイクロ波発生装置と自動車エンジン用点火プラグの組み合わせで発生する大気圧・空気プラズマ技術を応用した、VOC 酸化分解無害化装置を開発した。プラズマ安定発生は世界初。</p> <p>[分解特性] 低風量での分解試験では、ホルムアルデヒド 96%分解 (35ppm、100m³/時間)、トルエン 80%分解(78ppm、60m³/時間)、ベンゼン 70%分解 (360ppm、16m³/時間)を達成した。</p> <p>[大風量化装置開発] ドラフトチャンバーの排ガス処理試験(風量100～1000m³/時間)、要求風量の1/10の性能。一方、数m³/時間の小風量では1000ppm前後の高濃度VOCを高い分解率で処理できる。</p>	<p>発生は世界初。大風量化装置開発が未達であった。</p> <p>プラズマ点数の増加によるリアクター性能の向上、触媒技術との組み合わせによる性能向上等を図り、ドラフトチャンバー用処理風量に対応できる対策を講じる。今後2年以内を目処に、デモ機での性能検証、適用業種での実用化を目指す。</p>
--	------------------	---	---	--	--

A- (6) : デュアルメンブレンシステムによるガソリンペーパー回収装置の開発

委託先：タツノ・メカトロニクス・産業技術総合研究所

石油給油所におけるガソリンペーパーの排出削減の対策技術として、大気中の水蒸気を分離除去する脱水膜と、ガソリンペーパーを回収するVOC透過膜で構成されるデュアルメンブレンシステムにより水分フリーのガソリンペーパーを濃縮回収し、凝縮液化させて液化ガソリンとして給油中の車のタンクに戻す新方式の回収装置を開発した。先進国欧米には無い画期的回収システムである。脱水用にゼオライト膜、ガソリンペーパー回収用にシリコンゴム膜を用いた実機サイズの回収装置による耐久試験を行い、実ガソリンスタンドでの1年相当の耐久性能を確認し、回収率97%を達成した。また、実ガソリンスタンドに設置可能な法的認可を得たモデル機を完成させた。更に、性能面・コスト面で有利な炭素脱水膜の設計・製作を完了して、回収率99%以上を確認した。また、回収装置量産時のコスト、装置導入によるメリットを試算して、妥当性が検証できた。

<p>A-(6) デュアルメンブレンシステムによるガソリンペーパー回収装置の開発</p>	<p>[削減物質] トルエン、キシレン、ベンゼン、エチルベンゼン、その他炭化水素</p> <p>[実用化イメージ] ガソリンペーパー液化回収装置 ガソリンスタンドでの給油時に発生するガソリンペーパーを液化して回収する。処理量: 90L/分</p> <p>[分野・プロセス] ガソリンスタンド</p>	<p>[開発目標] 脱水膜、VOC 膜の組み合わせによる水分フリーのガソリンペーパー回収装置の開発。</p> <p>[脱水膜] 露点温度-30℃ ゼオライト膜より高性能な炭素膜開発</p> <p>[VOC 膜] 回収率 95% (1回通過操作時)</p> <p>[プロセス開発、装置開発][装置全体回収率] ガソリン回収率 99%以上(循環操作時) 耐久時間実ガソリンスタンド1年分(給油量 850 キロリットル) 装置試験設計</p>	<p>[成果] [脱水膜] ゼオライト膜にて露点温度-30℃を達成した。 ゼオライト膜より高性能・コスト面で有利な炭素脱水膜を開発した。</p> <p>[VOC 膜] シリコンゴム膜にて回収率 99%を達成した。</p> <p>[プロセス開発、装置開発][装置全体回収率] 脱水用にゼオライト膜、ガソリンペーパー回収用にシリコンゴム膜を用いた実機サイズの回収装置による耐久試験を行い、実ガソリンスタンドでの1</p>	<p>A-(6)達成 実証試験フェーズ 先進国欧米には無い画期的回収システム。市場導入を促進するため、平成 21 年度は、装置全体の耐久性(2 年分)を確認するとともに、コスト面で製品化に不可欠な炭素脱水膜のモジュール化、システム開発を行う(継続研究)。平成 23 年度より実ガソリンスタンドでの実証試験、平成 24 年度、市場導入を図る。</p>
--	--	--	--	---

				年相当の耐久性能を確認し、回収率 97%を達成した。また、同システムによる実ガソリンスタンドに設置可能な法的認可を得たモデル機を完成させた。性能・コスト面で有利な炭素脱水膜を用いて回収率 99%以上確認。また、回収装置量産時のコスト、装置導入によるメリットを試算して、妥当性が検証できた。
--	--	--	--	--

A- (7) : 含塩素VOC高効率分解固定化装置の研究開発

委託先：JFEソルデック

含塩素揮発性有機化合物（含塩素VOC）を分解し、塩素を固定化して、安全な廃棄或いは再利用することを可能とする分解固定化剤の開発、燃焼法や活性炭吸着法等の既存技術を上回るVOC無害化プロセスの開発及び分解固定化装置の事業化検討を実施した。分解・固定化を一段で達成する世界初の装置である。分解固定化剤として、安価な水酸化カルシウムを原料とする高比表面積酸化カルシウムを開発した。金属部品の脱脂工程から排出される実ガスを用いたベンチテスト機による実証試験により、ジクロロメタン濃度数百ppm、風量38L/分についてジクロロメタンのリーク無しで、目標時間を超える運転を達成した。また、実用化装置の試設計を行なって、競合プロセスとの比較を行い、本プロセスの優位性を確認した。さらに、使用済み固定化剤の利用先についても目途を付けた。

<p>A-(7) 含塩素 VOC 高効率分解固定化装置の研究開発</p>	<p>【削減物質】 トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ジクロロメタン</p> <p>【実用化イメージ】 含塩素 VOC 分解回収装置 処理量ジクロロメタン 8~30トン/年 濃度 1,000ppm 以下</p> <p>【分野・プロセス】 金属加工業(洗浄工程)</p>	<p>【開発目標】 含塩素 VOC を分解し、塩素を固定化する分解固定化剤の開発、VOC 無害化プロセスの開発、並びに、分解固定化装置の開発</p> <p>【分解固定化剤の開発】 VOC 分解率 99.9%以上 固定化剤転化率 70% 固着無し 安価な分解固定化剤</p> <p>【プロセス開発、装置開発】 プロセスの実証 ジクロロメタン分解固定化装置試設計 処理済み固定化剤の利用</p>	<p>【成果】 [分解固定化剤の開発] VOC 分解率 99.9%以上、転化率 70%以上、固着無かつ安価な高比表面積酸化カルシウムを開発した。 [プロセス開発、装置開発] 脱脂工程排出ガスを用いた実証試験により、ジクロロメタン濃度数百 ppm、風量 38L/分についてジクロロメタンのリーク無しで、目標時間を超える運転を達成した。実用化装置の試設計を行なって、本プロセスの優位性を確認した。さらに、使用済み固定化剤の利用先についても目途を付けた。</p>	<p>A-(7)達成実証試験フェーズ 分解・固定化を一段で達成する世界初の装置。技術の普及は今後の需要による。平成 24 年度、市場導入を図る。</p>
--	---	--	---	---

B- (1) : 非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発

委託先：昭和電工・産業技術総合研究所

本事業では、ビスフェノールA、ホルムアルデヒド、フェノール等のPRTR削減対象物質を用いずに、電気・電子材料に好適に用いられるレジスト材料等の新規製造法の確立に成功した。世界初の技術である。また、従来レジスト組成（塩素系のエピクロルヒドリンを原料とするエポキシ含有）に比べ、開発したレジスト組成は塩素が組成中には残留せずノンハロゲンとなるために絶縁性が飛躍的に向上することを確認し、製品の差別化を行える見極めを得た。

<p>B-(1) 非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発</p>	<p>【削減物質】 ビスフェノール-A、ホルムアルデヒド</p> <p>【実用化イメージ】</p>	<p>【開発目標】 非フェノール系樹脂原料を過酸化水素を用いて選択的にエポキシ化する手法を用い、PRTR 削減対象物質を</p>	<p>【成果】 ビスフェノール A、ホルムアルデヒド、フェノール等の PRTR 削減対象物質を用いず</p>	<p>B-(1)達成実用化 世界初の技術。従来レジスト組成(塩素系のエ</p>
---	---	---	---	--

	<p>ジ]</p> <p>絶縁材料</p> <p>[分野・プロセス]</p> <p>電子材料</p>	<p>用いずに、電気・電子材料に好適に用いられるレジスト材料等の新規製造法の開発。</p> <p>[プロセス開発]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・基質転化率 50%以上 ・モノエポキシ化選択率 90%以上 ・過酸化水素効率 80%以上 <p>[レジスト性能]</p> <p>塩素系化合物を含まない電気絶縁性に優れ、信頼度の高い電気・電子材料。</p> <p>ユーザー仕様による評価合格。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・絶縁性能:HHBT 試験後 $10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上 ・ハンダ耐熱性: $260^\circ\text{C} \times 10$ 秒, 2 回以上 ・可撓性: 180° 折り曲げ試験合格 ・安全性試験 	<p>に、電気・電子材料に好適に用いられるレジスト材料等の新規製造法の確立に成功した。</p> <p>[プロセス開発]</p> <p>非フェノール系樹脂原料の過酸化水素による選択的エポキシ化により、レジスト材料のスケールアップ試作に成功した。基質転化率等達成。</p> <p>[レジスト性能]</p> <p>本材料用いたレジストを合成して、優れた絶縁信頼性等、ユーザー要求性能を確認した。</p>	<p>ピクロルヒドリンを原料とするエポキシ含有)に比べ、開発したレジスト組成中には残留せずノンハロゲンとなるために絶縁性が飛躍的に向上することを確認し、製品の差別化を行える見極めを得た。</p>
--	--	---	--	---

B- (2) : 革新的水性塗料の開発

委託先：日本ペイント

VOC含有量を著しく低減して、塗料成分以外は水で構成される革新的水性塗料を開発した。塗装時のVOC排出量が5%以下、溶剤型塗料と同様に予備乾燥工程が不要、かつ、溶剤型塗料と同等のコスト、品質、塗装作業性などの製品レベルを有する水性塗料を目標とした。複合樹脂系エマルジョン技術、顔料分散用グラフトポリマー技術、塗料粘性制御技術等の各技術を最適化して、開発目標を達成した。大手鋼製家具メーカーでの実証試験で、目標塗膜厚 $50 \mu\text{m}$ 以上を付着させる事ができ、塗膜外観も問題なく、現行の水性塗料よりも工程短縮、短時間化が確認できた。実証試験を通じて溶剤系ラインでの置換え可能という評価も得た。実用化に向けての課題は仕上り外観と塗装作業性の両立であり、この解決には添加剤の最適化を図る。現時点で、VOC5%以下という数字は業界最高レベルである。

<p>B-(2)</p> <p>革新的水性塗料の開発</p>	<p>[削減物質]</p> <p>トルエン、キシレン、エチルベンゼン</p> <p>[実用化イメージ]</p> <p>焼付け型低 VOC 水性塗料</p> <p>[分野・プロセス]</p> <p>塗装、金属製品・機械への塗装</p>	<p>[開発目標]</p> <p>VOC含有量を著しく低減して、塗料成分以外は水で構成される水性塗料の開発。</p> <p>塗装時の VOC 排出量が 5%以下</p> <p>溶剤型塗料と同様に予備乾燥工程が不要</p> <p>溶剤型塗料と同等のコスト、品質、塗装作業性などの製品レベル確保</p> <p>ユーザー評価合格</p> <p>塗膜厚 $50 \mu\text{m}$ 以上、タレ、ワキ不良無し、塗膜平滑性 Ra0.3 未満</p>	<p>[成果]</p> <p>[VOC 排出量]</p> <p>VOC5%以下の水性塗料を開発した。</p> <p>溶剤型塗料では 60%、現行の水性塗料でも 10% を超える VOC 含有量を著しく低減して、塗料成分以外は水で構成される革新的水性塗料を開発した。</p> <p>[作業性、品質、コスト]</p> <p>ユーザーにおける実証試験で、塗膜厚 $50 \mu\text{m}$ 以上可能、外観良好。現行の水性塗料よりも工程短縮、短時間化が確認できた。溶剤系ラインでの塗料の置換え可能。コストも溶剤型と同等。</p>	<p>B-(2) 達成 実証試験フェーズ</p> <p>現時点で、VOC5%以下という数字は世界最高レベルである。実用化に向けての課題は仕上り外観と塗装作業性の両立であり、この解決には添加剤の最適化を図る。平成 21 年度に実用的なレベルの開発を終了させる。</p>
--------------------------------	--	--	--	---

B- (3) : 溶剤フリー塗装技術の研究開発

委託先：シルバー精工

蒸着重合法を用いて合成したポリ尿素によって、マグネシウム合金等の腐食し易い金属製品を防食膜で被覆する世界初の塗装代替技術の開発を行い、塗装工程におけるVOCの排出を全廃すると共に、ドライシステムの採用により、均一被覆と高い防食性能を両立する実用化技術を開発した。各種のジアミンモノマーとジイソシアナートモノマーの組合せ最適化による塗膜材料開発、均一被覆技術開発、インライン式蒸着重合装置を使用した実用規模試作機による成膜サンプルの実用化評価を行った。塩水噴霧試験に耐えうる最適な塗膜材料として脂肪族ジアミン

と脂環族ジイソシアナートの組合せを見出した。実用規模試作機による製膜では1 μm /分の製膜速度と $\pm 5\%$ 以内の良好な膜厚分布を達成した。ポリ尿素による防食膜を成膜したマグネシウムスピーカーコーンのサンプルを家電メーカーに提出して、音質評価で良好な評価を得た。量産化装置及び技術検討、コスト試算を行い実用化の見通しを得た。

<p>B-(3) 溶剤フリー塗装技術の研究開発</p>	<p>【削減物質】 トルエン、キシレン</p> <p>【実用化イメージ】 防食被覆膜 小型家電マグネシウムスピーカー、PC筐体等</p> <p>【分野・プロセス】 塗装、金属製品への塗装</p>	<p>【開発目標】 蒸着重合法を用いて合成したポリ尿素によって、マグネシウム合金等の金属製品を防食膜で被覆する塗装代替技術の開発。</p> <p>塗装におけるVOCの排出全廃 防食性能の優れたモノマー構成、膜厚決定 4日間の塩水噴霧試験、熱サイクル試験 20回 膜析出速度 $0.2 \mu\text{m}/\text{分}$以上、膜厚分布$\pm 10\%$以内 実証機、スピーカーコーンによる連続運転にてユーザー評価合格</p>	<p>【成果】 蒸着重合法を用いて合成したポリ尿素によって、マグネシウム合金等の腐食し易い金属製品を防食膜で被覆する塗装代替技術の開発を行い、塗装工程におけるVOCの排出を全廃すると共に、ドライシステムの採用により、均一被覆と高い防食性能を両立する実用化技術を開発した。 最適なポリ尿素塗膜材料を見出した。製膜速度 $1 \mu\text{m}/\text{分}$、$\pm 5\%$以内の膜厚分布を達成した。 家電メーカーにおけるスピーカーコーンのサンプル評価は良好。 量産化装置及び技術検討、コスト試算を行い実用化の見通しを得た。</p>	<p>B-(3)達成実証試験フェーズ</p> <p>本塗装代替技術開発は世界初である。</p> <p>PC筐体については、継続研究により製膜条件の最適化を行い、3次元立体形状物への応用を図り、市場拡大に伴う事業化を展開したい。筐体等への応用は平成23年(2011年)度製品化を目処。</p>
---------------------------------	--	---	--	--

B-(4) : 有害廃棄物フリー高効率エステル合成プロセスの開発

委託先：ケムクレア・産業技術総合研究所

化学品の合成反応であるエステル化反応について、マイクロ波加熱を用いたプロセスを開発して、副成廃棄物や有害な原材料薬品を削減した。医薬等の中間体であるハロゲン化酢酸エステル、アミノ酸エステルをターゲットとして、モデルプラント実証試験、プロセス安全性や反応装置設計指針の取得を目指した。更に、本合成プロセスの適応拡大のために触媒開発を行った。共沸脱水用のトルエンや硫酸触媒を用いずに、マイクロ波加熱と物理的脱水法によるモデルプラントにより、プロモ酢酸ベンジルの年間生産量でトンレベルの製造と廃棄物処理費の7割以上の削減を達成した。また、過去に評価事例のない、アミノ酸系、プロモ酢酸系の実反応条件下での誘電特性評価を行い、反応暴走評価やマイクロ波の内部浸透評価を行って、各種の設計指針を得た。更に、マイクロ波加熱と触媒の併用により複合効果をもたらすイオン液体型触媒等を開発した。

<p>B-(4) 有害廃棄物フリー高効率エステル合成プロセスの開発</p>	<p>【削減物質】 トルエン、キシレン、四塩化炭素、ベンゼン</p> <p>【実用化イメージ】 マイクロ波加熱を用いたエステル製造プロセス ハロゲン化酢酸エステル類(医薬・農業中間体) アミノ酸エステル類(医薬・太陽電池用色素中間体)</p> <p>【分野・プロセス】 化学工業、化学製品製造プロセス</p>	<p>【開発目標】 エステル合成プロセスにおける副成廃棄物や製造に使用する有害薬品を削減しうる、マイクロ波加熱方式によるエステル合成プロセスの開発。</p> <p>年産数トンレベルのモデルプラント実証試験 6時間以内に80%以上の合成収率、副成廃棄物等削減 Eファクター5以下 マイクロ波応答特性測定によるプロセス安全性指針、装置設計指針取得 マイクロ波によるエステル合成に適した触媒開発とアミノ酸エステル合成用不斉保持型触媒の開発</p>	<p>【成果】 共沸脱水用のトルエンや硫酸触媒を用いずに、マイクロ波加熱と物理的脱水法によるモデルプラントにより、プロモ酢酸ベンジルの収率80%、6時間得量18kg、年間生産量でトンレベルの製造とEファクター0.83、廃棄物処理費の7割以上の削減を達成した。 誘電特性評価により、安全性・装置設計指針を取得した。 マイクロ波加熱との併用効果をもたらすイオン液体</p>	<p>B-(4)達成実証試験フェーズ 技術統合フェーズ(アミノ酸エステル)</p> <p>本開発プロセスの適応範囲を拡大するためには、新規触媒などを中心とする要素技術のブラッシュアップと複合化による高機能化、マイクロ波反応装置の大型化を中心とするスケールアップ技術の確立が課題である。この目的で平成21~</p>
---	---	---	---	---

			型触媒等を開発した。	22年度は市場拡大が見込まれるアミノ酸のエステル化プロセスの完成に注力する(継続研究)。平成24年度、事業化を目指す。
--	--	--	------------	---

B-(5) : 革新的塗装装置の開発

委託先：加美電子工業・産業技術総合研究所

プラスチックへの塗装等に用いられ高い塗装仕上げ品質を有する有機溶剤系塗料によるスプレー塗装は、塗装業界における主要な塗装方法であり、VOCを大量に排出している。本研究開発では、塗料の希釈剤を二酸化炭素で代替する二酸化炭素塗装の実証を目的として、従来の塗装装置の塗料スプレー装置部分を小規模改造により置き換え可能な二酸化炭素スプレー装置の開発、希釈溶剤を全廃した二酸化炭素塗装用塗料の開発等により、高い塗装品質を確保したまま、VOC排出量を抑制する世界初の塗装システムを開発した。二酸化炭素塗装用塗料としてはクリア塗料・有色塗料を各複数種・複数色を開発した。高圧ガス保安法に準拠した連続式塗装装置を加美電子工業の実ラインの塗装ロボットに組み込み、実証運転を行った。膜厚、仕上げ品質とも良好で、塗装した部品をユーザーにサンプル出荷し、ユーザー規格に合格の評価結果を得て、本塗装機による塗装が実用レベルであることを確認した。

B-(5) 革新的塗装装置の開発	<p>【削減物質】 トルエン、キシレン、エチルベンゼン</p> <p>【実用化イメージ】 二酸化炭素塗装 低 VOC スプレー塗装</p> <p>【分野・プロセス】 塗装、樹脂製品・金属製品への塗装</p>	<p>【開発目標】 高い塗装仕上げ品質を有する有機溶剤系塗料の希釈剤を二酸化炭素で代替して、VOC 排出量を抑制する二酸化炭素塗装の実証、塗装装置及び塗料の開発。</p> <p>VOC 排出量を 2/3 削減、CO₂ 使用量を塗料の 1/3 以下 有機溶剤系塗料用スプレー装置部分を置き換え可能な二酸化炭素スプレー装置、スプレーガン吐出能力 50 ~ 80g/分 クリア塗料 3 種、有色塗料 4 種開発 有機溶剤系塗装における塗装仕上げ品質基準と同等以上</p>	<p>【成果】 従来の塗装装置の塗料スプレー装置部分を小規模改造により置き換え可能な二酸化炭素スプレー装置、希釈溶剤を全廃した二酸化炭素塗装用塗料の開発等により、高い塗装品質を確保したまま、VOC 排出量を 2/3 削減する塗装システムを開発した。CO₂ 使用量は塗料の 1/3 以下である。塗料としてはクリア塗料 3 種、有色塗料 6 種を開発した。連続式塗装装置を実ラインに組み込み、実証運転を行った。膜厚、仕上げ品質とも良好で、ユーザー規格に合格の評価結果を得て、本塗装機による塗装が実用レベルであることを確認した。本塗装方法は環境低負荷なうえ、経済的にも既存の塗装法よりもランニングコストが低減され有利である。</p>	<p>B-(5)達成実証試験フェーズ</p> <p>高意匠性樹脂部品を塗装出来る二酸化炭素塗装装置と塗料の開発は世界初の成果である。 工業化課題(操作性・連続安定性)を解決して工業化装置確立を目指す(継続研究)。更に、塗料種拡大、用途拡大を目指す(自主研究)。</p>
---------------------	--	--	---	---

C-(1) : 有害化学物質削減支援ツールの開発

委託先：三菱化学テクノリサーチ・三菱総合研究所・産業技術総合研究所

VOCの流通・使用・排出状況(我が国全体、事業所内)、VOC削減技術並びにサプライヤーの紹介、削減技術適用によるVOC削減効果試算、削減技術のコスト・見積情報等、総合的な情報を排出事業者等に提供することにより、間接的にVOCを削減することを目指した。トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ジクロロメタン、クロロホルム、トルエン及びキシレンの6物質、脱脂洗浄、スプレー塗装、グラビア印刷及び接着のVOC使用主要4業務を対象として、複数の対策について自社の条件で各種試算ができ、対策選定の手助けをするWebツール【略称：VOCナビ】を開発して、インターネット上に無償で公開した。毎月8千ページ前後のアクセスがあり、排出事業者、技術サプライヤー、行政担当者等に対しても本ツールは普

及しつつあり、さらに広く普及・波及することで、VOCの自主的な排出削減の取り組みを誘導する効果が期待できる。現時点で、経済産業省ホームページをはじめ21自治体などから本ツールへリンクが張られており、本ツールは関係者のニーズに対応した機能・内容を備えていると判断している。

ビジネスベースでのツール運営は現段階では難しいため、ツールの公開と並行し、フォローアップ研究として、リンク先の更新などデータベースのメンテナンスを実施している。2ヶ年を目処にフォローアップを継続し、VOC削減要請の加速化状況などを鑑みて、公的団体もしくは開発事業者のホームページでの公開に移行させる計画である。

<p>C-(1) 有害化学物質削減支援ツールの開発</p>	<p>【削減物質】 トルエン、キシレン、ジクロロメタン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、クロロホルム、6物質及び塗装・印刷業務で使用する全VOC</p> <p>【実用化イメージ】 ソリューションサイト型のWEBシステム</p> <p>【分野・プロセス】 塗装、洗浄、印刷、接着を伴う製造業及びその他上記6物質を取り扱うプロセスを有する産業分野</p>	<p>【開発目標】 VOCの使用・排出状況、VOC削減技術及び技術適用による削減効果、削減技術のコスト情報等を事業者等に提供することにより、VOC排出削減を支援するWebツールの開発。</p> <p>我が国全体及び事業所内のVOCフロー解析 エンドオブパイプ対策・インプラント対策に関する総合情報提供 削減技術、削減効果、コスト情報、CO₂排出量 事業者等が自ら各種試算ができ、対策選定を支援するWebツール公開 ツール機能の維持方法および情報提供サービスモデル策定</p>	<p>【成果】 VOCの使用・排出状況、VOC削減に関する総合情報提供を行い、対象6物質、脱脂洗浄、スプレー塗装、グラビア印刷及び接着のVOC使用主要4業務を対象として、自社の条件でVOC排出削減の試算ができ、対策選定を支援するWebツールを開発して、平成19年度からWEB上に無償公開中。毎月8千ページ前後のアクセスがあり、排出事業者、技術サブライヤー、行政担当者等に対しても本ツールは普及しつつあり、さらに広く普及・波及することで、VOCの自主的な排出削減の取り組みを誘導する効果が期待できる。</p> <p>ツール機能の維持、並びに、情報提供サービスの自立化を検討して、サービスモデルを策定した。</p>	<p>C-(1)達成実証試験フェーズ 自治体のホームページのリンクを通じたアクセスを含め、排出事業者など多様な事業者にも利用されている。ビジネスベースでのツール運営は現段階では難しいため、ツールの公開と並行し、フォローアップ研究として、リンク先の更新などデータベースのメンテナンスを実施している。2ヶ年を目処にフォローアップを継続し、VOC削減要請の加速化状況などを鑑みて、公的団体もしくは開発事業者のホームページでの公開に移行させる計画。</p>
-----------------------------------	---	---	--	---

投稿論文	31件、「査読付き」7件、その他24件
特許	「出願済」83件、うち国際出願20件、「登録」1件、「実施」27件

IV. 実用化、事業化の見通しについて

A-(1)：吸着エレメントとプラズマを組合わせた難処理有害化学物質除去の研究開発
委託先：西部技研
本研究で開発したプラズマ分解技術は、動力が電気のみでありオペレーションが容易、小型・軽量で狭いスペースにも設置可能、などの特長を有しているため、事業所が簡単に導入・設置・運転管理できる。課題として、電極・絶縁材の更なる耐久性向上を行う。市場性については、VOC排出量は少ないが、住居などの生活環境に排出源が隣接する悪臭の苦情対策をターゲットと考えている。小規模印刷事業所、自動車板金工場などは、都市型VOCの代表的な発生源である。平成20年3月より医療現場におけるホルムアルデヒド規制が強化されたが、吸着プラズマ分解装置はこのような低濃度でも有害性の高いVOCの除去に優位性がある。現在市場調査を実施し、この種用途向け製品化の可能性を検討している。技術の普及は今後の需要による。

A-(2)：直接加熱式VOC吸着回収装置の研究開発
委託先：エンバイロメント・テクノロジー・ベンチャーズ・産業技術総合研究所
本研究で開発したVOC吸着回収装置は、高効率な吸着回収、蒸気を使わない再生、回収溶剤の再利用による溶剤コスト削減、VOCモニタリングと回収溶剤管理システムによる環境対応と省力化を、ユーザーへ同時に提供できるものである。トリクロロエチレンなど不燃性VOCに対して、これまでVOC排出対策がほとんどされていない金属加工の中小事業所の洗浄工程をターゲットに、不燃性VOC用吸着回収装置を開発した。装置能力、実用性、信頼性、低ランニングコスト等の開発目標を達

成し、かつ、回収溶剤は再利用が可能でユーザーにコストメリットを提供できる。更なる低価格化と小型化にむけては、吸着剤等の見直しなどで対策の目処が付き、回収装置の価格は1台300万円を目標として、2010年度の事業化を目指す。さらに溶剤(VOC)回収業者との連携で、ユーザーが装置導入しやすい環境を作り、普及拡大を狙う。一方、印刷業などで使われるトルエンなどの可燃性VOCに対しては、高周波等の加熱技術を用いた回収装置について、自主研究により装置の実用性評価、大風量化、実用化を目指している。開発装置は再生工程で蒸気を使わないため、酢酸エチルなどの水溶性VOCの回収も可能である。平成23年(2011年)度の事業化を目指す。また、本研究開発技術の核は「吸着剤の新規な再生方法」であり、吸着剤を用いた産業装置へ広く展開できる可能性がある。

A- (3) : 吸着相オゾン酸化による排出有害物質の完全分解処理

委託先：産業創造研究所・岩尾磁器・東洋インキエンジニアリング

排水処理では排水量2m³/日(トリクロロエチレン・アセトアルデヒド濃度数十mg/L程度)レベルのユーザーサイト、排ガス処理では排ガス量10~100Nm³/時間(トルエン・キシレン濃度100ppm程度)レベルのユーザーサイトに実機または実験機を持ち込み実証運転を行い、分解性能及び低コスト性をPRし、技術普及を図る。排水処理については、平成19年度に、小容量(2m³/日)の装置を実用化・上市し、同時に5m³/日レベルの装置へスケールアップを図る。排ガス処理については、平成19年度に処理容量10~100Nm³/時間の処理装置を上市し、出版・印刷業、食品産業等で排ガス量が少ない小規模事業所への適用・販売を目指す。また、平行して100m³/時間以上の大規模処理容量へのスケールアップを検討し、化学工業、半導体工業等排ガス量の大きな事業所への適用・販売も目指す。

実施機関解散等の理由により研究開発事業は平成18年度で終了した。

A- (4) : マイクロバブルの圧壊による有害化学物質の高効率分解技術の開発

委託先：REO研究所・産業技術総合研究所

本システムの特長は、空気から生成されるオゾン以外使用しないこと、生成ラジカルの酸化作用による分解なので、汚泥の発生が抑制できること、閉鎖系システムにできるため、大気中に揮発成分を排出しないことが挙げられる。これらのことから難分解性の有害化学物質を含む排水の分解に適している。削減対象の有害化学物質は、フェノール、N,N-ジメチルホルムアミド、トリクロロエチレンを含む排水を対象としており、適応分野は、化学工業、プラスチック製品製造業、繊維工業が挙げられる。実用化時期は、平成19年度中を目標としている。

技術検討委員会判断により研究開発事業は平成17年度で終了した。

A- (5) : 大気圧・空気プラズマを利用した揮発性有機化合物(VOC)等の無害化装置の開発

委託先：イマジニアリング

大気圧・空気プラズマによるVOC分解は、信頼性が確保された既存の部品から構成されており、装置費用・維持費用が低い、オペレーションが容易、狭いスペースにも設置可能などの特長を有している。当初は、ドラフトチャンバーへの適用を想定したが、現在、開発したものは要求処理風量の約1/10以下であり、適用は難しい。一方で、高濃度のガスの分解が可能であることから、今後、プラズマ点数の増加によるリアクター性能の向上、触媒技術との組み合わせによる性能向上等を図り、ドラフトチャンバー用処理風量に対応できる対策を講じる。今後2年以内を目処に、デモ機での性能検証、適用業種での実用化を目指す。本技術によるVOC処理の特徴は、小風量・高濃度・多成分処理に適することから、密閉空間内のVOC処理等への適用を想定して市場の調査、導入方法などを検討し実用化を進める。

A- (6) : デュアルメンブレンシステムによるガソリンペーパー回収装置の開発

委託先：タツノ・メカトロニクス・産業技術総合研究所

デュアルメンブレンシステムによるガソリンペーパー回収装置は、給油時に大気へ放出されるガソリンを水分フリーで99%以上回収でき、VOC排出削減と石油資源の有効利用に寄与する。装置導入にあたっては複雑な配管工事を必要とせず、欧米には無い新しい回収システムである。また、給油時の臭気問題、火災の危険を低減できる。市場導入を促進するため、平成21年度は、装置全体の耐久性能(2年分)を確認するとともに、コスト面で製品化に不可欠な炭素脱水膜のモジュール化、システム開発を行う(継続研究)。平成23年度より実ガソリンスタンドでの実証試験、平成24年度、市場導入を図る。本技術開発成果の波及が期待されるクリーニング業界、工業充填業界等における溶剤回収・再利用の可能性を検討している。

A- (7) : 含塩素VOC高効率分解固定化装置の研究開発

委託先：JFEソルデック

含塩素VOC高効率分解固定化装置は既存技術の市場と競合しないユーザー層に適用可能であると判断しており、今後更に規制強化(ジクロロメタン50ppm)で新たに需要が生じることが期待できる。設備建設市場は最小でジクロロメタン排出量3700トン/年から最大で11600トン/年が見込まれる。初期参入ターゲットとす

る市場としては、現在回収装置が設置されていないジクロロメタン排出濃度が1000ppm以下で、年間排出量8～30トンの小規模事業所に絞る。今後の需要によるが、平成24年度に市場導入、平成27年度(2015年)を目処に削減規模として100トン/年を目指す。次の事業展開としては、回収メリットの出にくいジクロロメタンと他の含塩素VOCとの混合物処理、例えば、化学工業等の合成反応用途を市場として事業化してゆく計画である。また、本開発の高効率分解固定化技術の波及分野としては、フロン分解・回収処理への応用の可能性がある。

B-1) : 非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発

委託先：昭和電工・産業技術総合研究所

本研究で得られた成果であるノンハロゲン化の特長を活かし、さらなる配線の狭ピッチ化が要求されており、かつ今後の市場の大幅な伸びが期待できるエレクトロニクス分野の中の特定用途へまずはターゲットを定めて、平成19年度にはサンプル供給を行い、客先のような要求特性に応えられるよう、特性改善を行った後、平成21年に生産を予定している。また、ノンハロゲン化による電気絶縁性を活かし、他の電子材料への用途拡大を行うために、コストダウンを積極的に進めていく必要がある。さらには、VOC削減のさらなる波及効果と本材料の普及を目指し、汎用一般用途の低VOC型エポキシ塗料市場などを見据えた取り組みを行う。

B-2) : 革新的水性塗料の開発

委託先：日本ペイント

革新的水性塗料と競合する技術の中でVOC含有量0%の粉体塗料とは、現有設備を有効利用できる点で、溶剤型ハイソリッド塗料とは、低VOC、溶剤臭気、引火火災の危険性などの点で革新的水性塗料の優位性が認められる。近隣住民への火災、臭気の問題解消などのメリットと昨今の原油価格高騰などを考慮すれば十分に競争力がある。革新的水性塗料は、実証試験を行った白系淡彩色だけでなく様々な色相への対応性や、また、室内用途向け水系艶消し技術の開発などを含め、平成21年度に実用的なレベルの開発を終了させ(自主研究)、平成22年度中には鋼製家具を中心とした一般工業塗装分野に上市する計画である。本研究開発技術は、特に水性化を目指す領域に適用・適用可能と考えられ、建設機械や鉄道車両などの工業塗装分野や、自動車塗装の分野にも展開していきたいと考える。

B-3) : 溶剤フリー塗装技術の研究開発

委託先：シルバー精工

金属防食皮膜としてのポリ尿素蒸着重合皮膜塗装技術は、有機溶剤を使用する下地処理・塗装方法と比較して、有機溶剤を一切使用しないため、VOCを全廃することができる。また、本開発技術は高い防食性、良好な製膜速度、均一被覆性を有する。マグネシウム合金に対する耐食面から、家電市場、中でも音楽業界を中心とした、マグネシウムスピーカーの量産化・事業化を現在進め市場参入を図っている。更に、製膜条件の最適化を行うことで、PC筐体等の3次元立体形状物への応用を図り(継続研究)、市場拡大に伴う事業化を展開したいと考えている。現在、筐体等への応用は平成23年(2011年)製品化を目処に進めている。本開発技術の普及により、マグネシウム合金の塗装工程の多さ、煩雑さによる高コストの問題も解消され、マグネシウム合金の用途が拡大すると期待される。

B-4) : 有害廃棄物フリー高効率エステル合成プロセスの開発

委託先：ケミクレア・産業技術総合研究所

本開発において、マイクロ波加熱方式を用いた合成プロセスにより、年間生産量でトンレベルのブロム酢酸エステルの製造が可能であり、副成廃棄物やトルエン等有害原材料を削減できることが実証された。同時に、本プロセスは省エネも達成しうる。生産量が順調に伸びているブロム酢酸エステル類には本開発で確立した基本プロセスの延長で対応可能と考えられるが、技術普及のためには汎用化が必要である。本開発プロセスの適応範囲を拡大するためには、新規触媒などを中心とする要素技術のブラッシュアップと複合化による高機能化、マイクロ波反応装置の大型化を中心とするスケールアップ技術の確立が課題である。この目的で平成21～22年度は市場拡大が見込まれるアミノ酸のエステル化プロセスの完成に注力する予定である(継続研究)。平成24年度、事業化を目指す。更に、本技術の水平展開としてコモディティエステル分野やPETに代表されるエステル型ポリマー製造への適用等の波及効果が期待できる。

B-5) : 革新的塗装装置の開発

委託先：加美電子工業・産業技術総合研究所

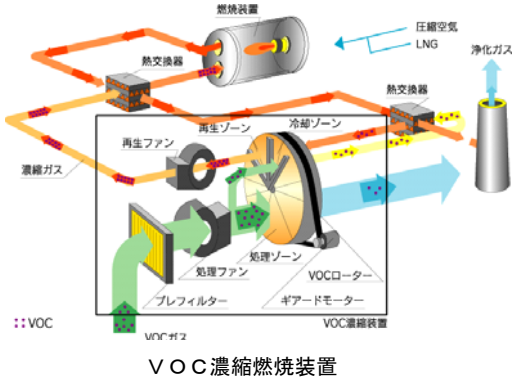
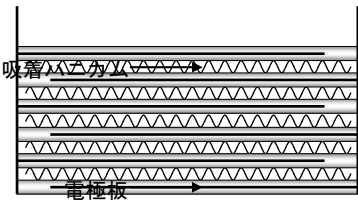

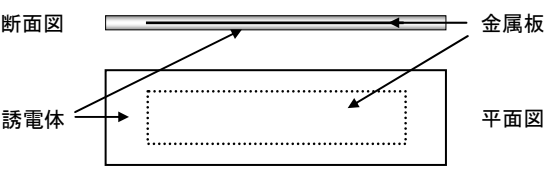
本開発において、二酸化炭素塗装に関する基盤技術と、加美電子工業が主力とする携帯電話・自動車電装用の小型樹脂部品向けの塗装機及び加美電子工業の必要仕様を満足するトップコート用の塗料を開発し、最終目標を達成した。高意匠性樹脂部品を塗装出来る二酸化炭素塗装装置と塗料の開発は世界初の成果である。本塗装方法は環境低負荷なうえ、経済的にも既存の塗装法よりもランニングコストが低減され有利である。現在は、量産ラインに設置するための塗装機を製作中であり、平成22年(2010年)4月からの稼働を目指しており、実用化目前である。工業化課題(操作性・連続安定性)を解決して工業化装置確立を目指す。更に、小型樹脂部品以外への用途拡大に向け、自動車車体、光学電子樹脂部品、高級木


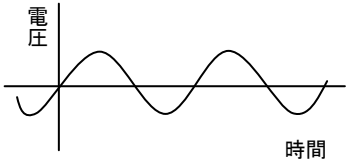
	<p>工家具への展開に向けた共同研究をスタートさせて、それぞれの用途に適した塗装機と塗料の開発を進めている（継続研究及び自主研究）。このように二酸化炭素塗装の適用範囲は広く、二酸化炭素塗装という1つのジャンルを形成すると期待される。</p> <p>C-（1）：有害化学物質削減支援ツールの開発 委託先：三菱化学テクノリサーチ・三菱総合研究所・産業技術総合研究所 VOC削減に関する総合的な情報を提供が可能なツールを開発した。計画されたツール機能は完成し、平成19年度からWEB上に無償公開して、ウェブサイトで利用されており実用化できている。ビジネスベースでのツール運営は現段階では難しいため、ツールの公開と並行し、フォローアップ研究として、リンク先の更新などデータベースのメンテナンスを実施している。2ヶ年を目処にフォローアップを継続し、VOC削減要請の加速化状況などを鑑みて、公的団体もしくは開発事業者のホームページでの公開に移行させる計画である。また、本ツールはVOC以外の有害化学物質を対象とするなどの拡張性を有しているものと考えている。</p>	
V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成 16 年 3 月 NEDO 技術開発機構によって基本計画を策定。
	変更履歴	<p>平成 17 年 3 月 研究開発の目的、研究開発課題、研究開発の内容に関して、進捗状況を勘案して、一部、変更、削除した。</p> <p>平成 20 年 7 月 イノベーションプログラム基本計画の制定により、 (1) 研究開発の目的の記載を改訂。</p>

表 委託先、再委託先等、研究開発テーマ、プロジェクトリーダー、開発期間

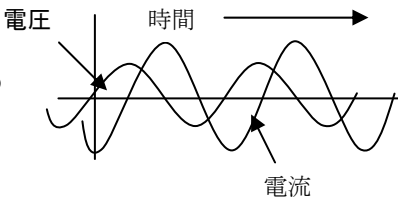
区分	研究開発テーマ 委託先、再委託先	プロジェクトリーダー	開発期間	
エンドオブパイプ技術 (EP)	吸着エレメントとプラズマを組合わせた難処理有害化学物質除去の研究開発 (株) 西部技研	(株) 西部技研 取締役 岡野浩志	H16-H17 H18 継続研究	
	直接加熱式 VOC 吸着回収装置の研究開発 エンバイロメント・テクノロジー・ベンチャーズ (株) -再委託: 東京大学、信州大学 (H18) (独) 産業技術総合研究所 -再委託: 国士舘大学、信州大学 (H17)	ダイキン工業 (株) 常務執行役員 井原清彦	H17-H19 H20 継続研究	
	吸着相オゾン酸化による排出有害物質の完全分解処理 (財) 産業創造研究所 東洋インキエンジニアリング (株) (H17 迄) 岩尾磁器工業 (株) (H17 迄)	東京大学生産技術研究所 教授 迫田章義	H16-H18	
	マイクロバブルの圧壊による有害化学物質の高効率分解技術の開発 (株) R E O 研究所 (独) 産業技術総合研究所	(社) 産業環境管理協会 常務理事 指宿堯嗣	H16-H17	
	大気圧・空気プラズマを利用した揮発性有機化合物 (VOC) 等の無害化装置の開発 イマジニアリング (株) -共同実施先: 名古屋大学 (H18)	(株) 島津製作所 前理事 高木誠	H18-H20	
	デュアルメンブレンシステムによるガソリンペーパー回収装置の開発 (株) タツノ・メカトロニクス (独) 産業技術総合研究所	(株) タツノ・メカトロニクス 常務取締役 本橋俊明	H18-H20 H21-H22 継続研究	
	含塩素 VOC 高効率分解固定化装置の研究開発 JFE ソルデック (株) JFE ソルデック (株) -共同実施先: (LLP) E&E Navi、 -再委託: 宇都宮大学	JFE ソルデック (株) 社長 久松喜彦	H18-H20	
	インプラント技術 (IP)	非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発 昭和電工 (株) (独) 産業技術総合研究所	(独) 産業技術総合研究所 環境化学技術研究部門 部門長 島田広道	H16-H18 H19-H20 継続研究
		革新的水性塗料の開発 日本ペイント (株) -再委託: 山口東京理科大学	山口東京理科大学 教授 戸嶋直樹	H17-H19 H20 継続研究
		溶剤フリー塗装技術の研究開発 シルバー精工 (株) (旧社名: (株) 創研) -再委託: 日本金属 (株)、静岡大学	日本金属 (株) 常務取締役 山崎一正	H18-H20 H21-H22 継続研究
有害廃棄物フリー高効率エステル合成プロセスの開発 (株) ケミクレア -再委託: 岐阜大学 (独) 産業技術総合研究所		(株) ケミクレア 取締役研究所長 三浦偉俊	H19-H20 H21-H22 継続研究	
革新的塗装装置の開発 加美電子工業 (株) -再委託: 宮城県産業技術総合センター、 オリジン電気 (株) (H20)、 アトムクス (株) (H20)、 三菱レイヨン (株) (H20) (独) 産業技術総合研究所		加美電子工業 (株) 代表取締役 早坂裕	H19-H20 H21-H22 継続研究	
システム・ソフト技術		有害化学物質削減支援ツールの開発 (株) 三菱化学テクノロジーリサーチ (旧社名: ダイヤリサーチマーテック (株)) -再委託: みずほ情報総研 (株) (H18-) (株) 三菱総合研究所 -再委託: (独) 産業技術総合研究所 (H18-) (独) 産業技術総合研究所 (H17 迄)	東京大学生産技術研究所長 教授 前田正史	H17-H20

A-(1) 「吸着元素とプラズマを組合わせた難処理有害化学物質除去の研究開発」

用語	解説												
揮発性有機化合物 (VOC)	<p>WHO（世界保健機構）は、室内空気汚染源になる可能性のある有機化合物を沸点に応じて下の表のように分類している。</p> <table border="1" data-bbox="443 461 1410 658"> <thead> <tr> <th></th> <th>略記</th> <th>沸点範囲</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>超揮発性有機化合物</td> <td>VVOC</td> <td><0℃から 50-100℃</td> </tr> <tr> <td>揮発性有機化合物</td> <td>VOC</td> <td>50-100℃から 240-260℃</td> </tr> <tr> <td>半揮発性有機化合物</td> <td>SVOC</td> <td>240-260℃から 380-400</td> </tr> </tbody> </table> <p>その中で、揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds : VOC) とは、沸点範囲として 50-100℃から 240-260℃の範囲のものを指す。</p>		略記	沸点範囲	超揮発性有機化合物	VVOC	<0℃から 50-100℃	揮発性有機化合物	VOC	50-100℃から 240-260℃	半揮発性有機化合物	SVOC	240-260℃から 380-400
	略記	沸点範囲											
超揮発性有機化合物	VVOC	<0℃から 50-100℃											
揮発性有機化合物	VOC	50-100℃から 240-260℃											
半揮発性有機化合物	SVOC	240-260℃から 380-400											
VOC濃縮装置	<p>VOC濃縮燃焼装置の濃縮部分（枠内）。低濃度・大風量のVOCガスを高濃度・小風量に濃縮する装置。</p> <p>VOC濃縮装置の特長</p> <ul style="list-style-type: none"> ・VOCを燃焼装置のエネルギーに →ランニングコストの低減 ・燃焼装置の小型化が可能 →イニシャルコストの低減  <p style="text-align: center;">VOC濃縮燃焼装置</p>												
プラズマ元素	<p>平行平板電極に吸着ハニカムを入れたもの。</p>  <p style="text-align: center;">プラズマ元素（断面図）</p>												
平行平板電極	<p>電極板を積層したもの。</p>  <p style="text-align: center;">平行平板電極（断面図）</p>												
電極板	<p>金属板を誘電体で挟み込んだもの（板状）。</p>  <p style="text-align: center;">電極板</p>												

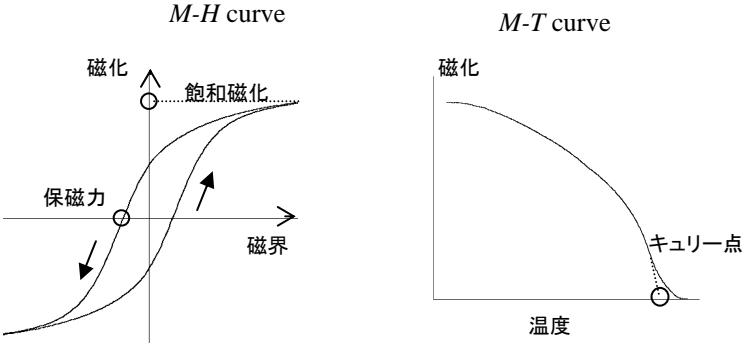
<p>ハニカム (Honeycomb)</p>	<p>「蜂の巣」から転じて、工業材料として用いられる六角形の小部屋（セル）の集合体を意味する。現在では、六角セル以外でも同一形状のセルの集合体を総称してハニカムと呼ぶ。本研究では、薄い板状の素材と波形の素材を接着したハニカムを使用した。</p> <p>ハニカムの特長</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・ 通気抵抗が極めて低い ・ 比表面積が極めて大きい ・ 軽くて強い
<p>吸着 ハニカム</p>	<p>ハニカムに吸着剤を担持したもの。</p>
<p>プラズマ</p>	<p>定義：正電気を帯びた粒子と負電気を帯びた電子とがほぼ同じ密度で、ほぼ電気的中性を保って分布している集団。</p> <p>イメージ：物質の三態（固体・液体・気体）のさらにその上の第四の状態。</p> <p style="text-align: center;"> 固体 → 液体 → 気体 → プラズマ 0°C 100°C 10000°C </p> <p>※プラズマ：10000°C以上の高温に匹敵するエネルギー状態</p>
<p>バリア 放電方式</p>	<p>プラズマ発生方式の一つ</p> <p>適当な誘電体（本研究ではマイカ）を金属板の片側、あるいは両側に配した電極板に交流電圧を加え、プラズマを発生させる方式。</p> <p>均一な放電状態が得られる、臭気・VOC処理で使われるプラズマ発生方式</p> <p>①バリア放電、②沿面放電、③パケットベッド式放電、④パルス放電、⑤キャピラリーチューブ式放電</p>
<p>オゾン</p>	<p>ギリシャ語の Ozein（臭う）由来の、特有の臭いを持った酸素（O_2）と同素体である無色の気体（O_3）、分子量は48、沸点は-112°C。</p> <p>オゾンの特長</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 強力な殺菌力、脱臭力、漂白力を持つ。殺菌力は塩素の7倍 ・ 自己分解性（O_2（無害）に分解）
<p>触媒エレ メント</p>	<p>ハニカムに触媒を担持したもの。</p>
<p>炭化水素計</p>	<p>気体中の炭化水素の総濃度を水素炎イオン化検出器（FID）によって測定する計測器。</p>
<p>オシロ スコープ</p>	<p>電気信号を表示する機器。電圧の時間変化を表示する（縦軸：電圧、横軸：時間）。オシロスコープでは電圧波形しか観測できないが、各種センサ等を用いて電圧に変換すれば、電流、音声、光強度などの信号波形を観測できる。</p>  <p style="text-align: center;">オシロスコープ波形</p>


高圧プローブ	オシロスコープで高電圧波形を測定するために使用する受動プローブ 高電圧（入力）を減衰し、低電圧（出力）に変換する。 e x. 減衰比 1000 : 1 1000V→1Vに変換（オシロスコープへ入力可能）
高電圧電源	100V や 200V を数 kV まで昇圧できる電源。 入力側で電圧調整器（スライダックなど）を使うと、出力側電圧を可変できる。
温湿度供給装置	所定の温度・湿度に調整した風を供給する装置。
シーケンサ	シーケンス制御を実現する専用コントローラ（計算機）。 制御内容をシーケンサ内部（シーケンサ CPU）に書込むことで、ある装置の一連の動作を、人の操作の介入なしで行なえる。 シーケンス：自動化するためのプログラム
誘電体	直流電場をかけても直流電流が生じない電氣的絶縁体。 電気系における絶縁材料やコンデンサの電極間挿入材料として利用される。
マイカ (mica)	天然の鉱物で、日本語で雲母。日本の電気業界ではマイカと呼ぶことが一般的。 マイカは、電気絶縁性、耐熱性に優れており、へき開性を持ち薄片状にできる。 天然産物としては比較的安価であることなどから、電気機器の絶縁材料として古くから使用されている。 マイカの特長 ：電気絶縁性、耐熱性、耐圧縮性、耐水性、耐薬品性に優れる
絶縁破壊	電気・電子回路やその部品において、設計された耐電圧を超えた高電圧が加わったために、導電体間を隔離している絶縁材（非導電性物質や空気層など）が破壊するなどして導通して、絶縁状態が保てなくなること。 絶縁破壊という言葉は「絶縁状態が破られたこと」および「高圧に耐えられずに機器の絶縁が壊れたこと」の両方の意味合いで用いられる。
疎水性 ゼオライト	結晶性のアルミノケイ酸塩。 水分よりも疎水性物質（臭気物質・VOC など）を優先的に吸着する。多数の細孔を持つ。
アルミナ ゲル	吸湿剤の一種、成分は Al_2O_3 、白色、無味無臭で、毒性・可燃性もない。水分吸着量はシリカゲルよりやや少ない。
3A ゼオライト	3Åの細孔を持つゼオライト。3Å未満の物質（e x. 水、一酸化炭素等）は吸着するが、3Åを超える物質（e x. ベンゼン、トルエン等）は吸着しない。
光触媒	光を吸収することでそれ自身は反応の前後で変化しないが、化学反応を促進する物質をいう。二酸化チタン（ TiO_2 ）が代表的。 紫外線が光触媒にあたると、その表面で強力な酸化力が生まれる。理論上は、紫外線と酸素、水分さえあれば効果は半永久的。光触媒は抗菌・消臭・防汚等の分野でその酸化力を生かした環境浄化テクノロジーとして利用されている。
許容濃度	労働者が有害物に連日暴露される場合に、当該有害物の空气中濃度がこの数値以下であれば、ほとんど全ての労働者に悪影響が見られないとされる濃度。

力率	交流回路に於ける、電圧と電流の波形のズレを現す数値、電圧と電流が一致している抵抗負荷（白熱電球）などの場合は力率 100%と表される。
遅れ力率	交流回路に於いて、電圧波形に対し電流波形が遅れている場合を表す。 モーターや蛍光灯などは遅れ力率である 逆に進んでいる場合は進み力率。 
進相コンデンサ	遅れ力率を改善するために用いられるコンデンサ。
リアクトル	高周波ノイズの吸収や進み力率の改善に用いる導線を巻いたコイル。
汎用トランス	一つの鉄心に一次、二次コイルを巻いた一般的なトランスで、交流回路に於いて、電圧を上げたり下げたりすることに用いられている。
リンケージトランス	二次コイルを個々の鉄心に巻きその間を磁気回路にてつないだ物で、磁気回路の設計により色々な特性を与えることが出来る。
巻き線温度	モーターやトランスの巻き線に流れる電流で発熱し起こる温度上昇 巻き線の絶縁等級や冷却方式により、個々の機器により上限が決められている。

A - (2) 「直接加熱式 VOC 吸着回収装置の研究開発」

用語	解説
吸着回収	活性炭、ゼオライトなどを利用してガス状成分を吸着し、加熱や減圧で吸着ガスを脱離させ、それを冷却凝縮し、回収すること。高濃度のガスへの適応が有利である。ガス状成分を液体として回収する以外には、脱離させたガスを燃焼等によって処理する方法などがある。
活性炭素繊維	化学繊維や天然繊維、あるいは石油ピッチ系繊維を炭化・賦活化（水蒸気等で混温処理）した活性炭で、フェルト状、布状、繊維（綿）状のものなどがある。1本の繊維の外側から0.2~0.3nmの穴（細孔）があいており、そこが吸着座となる。活性炭1g当りの細孔内部の総面積（比表面積）は1,000~2,000m ² /gで、粒状の活性炭（ヤシガラなどを炭化・賦活化したもの）の2倍以上である。活性炭素繊維は繊維表面に直接吸着座となる細孔があるため、吸着・脱離速度が非常に速いのが特長である。しかし、嵩密度が小さい（0.05程度で、粒状活性炭の約1/10）ので、体積当りの吸着量が小さくなるのが欠点である。
活性炭素繊維の通電加熱	抵抗に電流を流し抵抗加熱を行うことを通電加熱という。活性炭はほとんど炭素で出来ているので導電体である。活性炭素繊維も同様で、フェルトや繊維状のものに電極を取り付けて電流を流すと抵抗加熱（通電加熱）が起こる。この熱を利用して吸着物質の加熱脱離を行う。

キャリアガス	吸着体自体を電気的エネルギーで直接加熱して脱離させる場合、脱離したガスを追い出すために、少量の窒素等のガスを流す必要がある。このガスをキャリアガスという。
水溶性溶剤	塗料などで溶剤として使われるトルエンの代替としての酢酸エチルや、工業用洗浄で使われるトリクロロエチレンなどの代替としてのイソプロピルアルコールなど、水に溶解する溶剤のこと。(トルエンや塩素系溶剤は難水溶性でスチーム脱離で回収した場合、水と分離が可能であるが、水溶性溶剤の場合は困難である。)
高周波誘導加熱	金属を高周波磁場中に置いた時に金属表面に流れる渦電流が、金属の自体の電気抵抗によって発熱させること。
ゼオライト	天然のものは沸石ともいう。カルシウムやナトリウムを主成分とする含水アルミノ珪(けい)酸塩鉱物。結晶構造は、すきまの多いアルミノ珪酸塩基が骨組であるため、人工合成されたものは特にそのすきまを制御し、吸着剤や分子ふるいに用いられる。
シリカゲル	ケイ酸ゲルを脱水・乾燥したもので、組成式は $SiO_2 \cdot nH_2O$ 。多孔質構造(細孔構造)を持ち表面積が広いので、乾燥剤や触媒の担体として利用される。
キュリー一点温度制御	磁性体固有のキュリー一点(キュリー温度)で被加熱物を温度制御する方法。加熱原理には二種類あり、一つは磁気ヒステリシス損失によるもの、他方は渦電流損失によるものである。 キュリー一点温度制御の利点は、 ・ 過大入力があってもキュリー一点以上に温度が上がらない、 ・ 吸着層全体がキュリー一点で定まる一定温度になる、 ・ 急速加熱に際してもオーバーシュートが起こらない 等の点で、他に無い優れた加熱法である。
磁気ヒステリシス発熱によるキュリー一点温度制御	ヒステリシス加熱の原理は、下図のようなヒステリシスループを描くごとに、その面積に対応したエネルギーが熱として放出されることによる。キュリー一点ではヒステリシスループを描かなくなるので発熱源がなくなるため、それ以上の加熱は起こらない。 

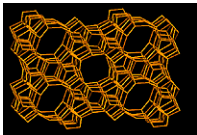
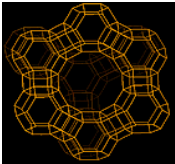
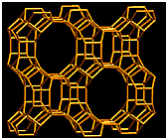
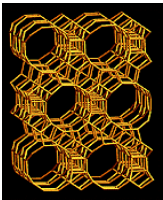
<p>渦電流発熱によるキュリー点温度制御</p>	<p>渦電流加熱の原理は誘導電流によるジュール熱だが、表皮厚さが密接に関係している。高周波電流は表面しか流れられず、その表皮厚さは磁性体の透磁率が大きいほど薄くなる。キュリー点では透磁率も最小になるので渦電流は磁性体全体を流れることになり、電気抵抗が低くなってジュール熱はほとんど生じなくなる。</p> <div style="text-align: center;"> <p>$T < T_c$ $T > T_c$</p>  </div>						
<p>キャニスター</p>	<p>一般的には保管容器のことであるが、本開発の可燃性 VOC 吸着回収装置では、脱離工程で発生するキャリアガスとともに発生する高濃度の VOC ガスを一時的に吸着させる小型の吸着体。(吸着した VOC は吸着塔の冷却工程で発生する余熱を利用して脱離させ、吸着塔に再吸着させる。) 自動車用キャニスターは、停車中にガソリン燃料タンクとかキャブレターより放散されるガソリン蒸気を、一時的に吸着するための吸着剤を入れた容器のこと(自動車の走行中に取り入れる新鮮空気によって脱離させ、脱着したガソリンはエンジンで燃焼させる)で、機能的に似ている。</p>						
<p>吸着 吸着剤 多孔体(多孔性材料)</p>	<p>気体や溶液中から特定成分が固体中に取り込まれる現象を吸着、吸着能を持つ物質は吸着剤と呼ばれる。吸着剤は分子オーダーの細孔を持つ多孔性材料で、ゼオライト、シリカゲル、活性炭等が良く知られている。</p>						
<p>細孔</p>	<p>細孔の大きさによって3つのタイプに分類される。</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="padding-left: 40px;">マイクロポア (マイクロ孔)</td> <td style="text-align: right;">2nm以下</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 40px;">メソポア (メソ孔)</td> <td style="text-align: right;">2~50nm</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 40px;">マクロポア (マクロ孔)</td> <td style="text-align: right;">50nm以上</td> </tr> </table>	マイクロポア (マイクロ孔)	2nm以下	メソポア (メソ孔)	2~50nm	マクロポア (マクロ孔)	50nm以上
マイクロポア (マイクロ孔)	2nm以下						
メソポア (メソ孔)	2~50nm						
マクロポア (マクロ孔)	50nm以上						
<p>VOC センサ</p>	<p>既知のVOCの濃度を定量的に計測する装置。定性的な計測に限る「匂いセンサ」や、ガス種を同定するガスクロマトグラフなどの分析機器も含まない。</p>						
<p>PID (Photo Ionization Detector: 光イオン検出器)</p>	<p>試料成分にそのイオン化電圧より高いエネルギーを持つ光を照射するとイオン化が起こる現象を利用して検出。グロー放電により真空紫外線(10- 190nm)を発生させ高エネルギーの紫外線を用いて分子のイオン化を行い検出する。触媒酸化式などとは違い、センサ部分が高温に成らないのでガスによる爆発の危険がさけられる。</p>						
<p>PRTR (Pollutant Release and Transfer Register : 化学物質排出移動量届出制度)</p>	<p>有害性のある多種多様な化学物質が、どのような発生源から、どれくらい環境中に排出されたか、あるいは廃棄物に含まれて事業所の外に運び出されたかというデータを把握し、集計し、公表する仕組み。</p>						

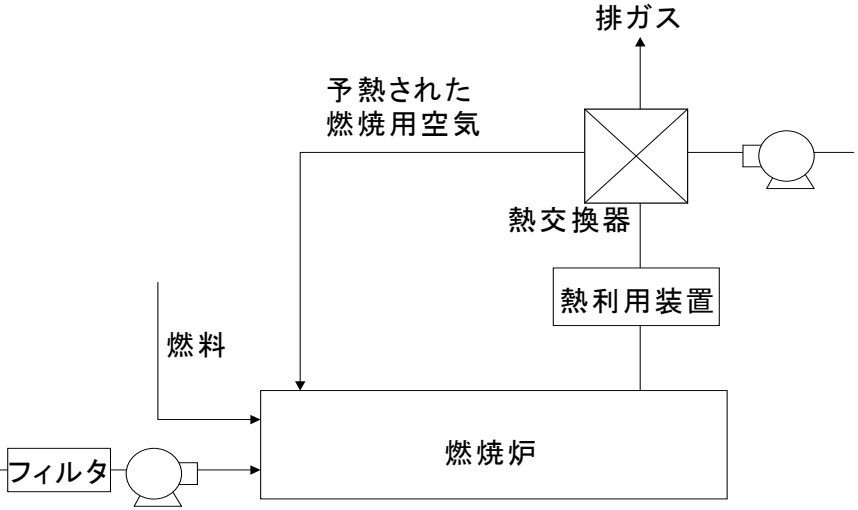
A- (3) 「吸着相オゾン酸化による排出有害物質の完全分解処理」

用語	解説
BOD	<p>生物化学的酸素要求量 (Biochemical Oxygen Demand)</p> <p>水の汚濁指標として用いられ、工場排水等の規制項目の一つである。微生物が水中の有機物を酸化するときに消費する酸素量として表され、この値が大きいほど汚濁の度合いが大きい。</p>
COD	<p>化学的酸素要求量 (Chemical Oxygen Demand)</p> <p>水の汚濁指標として用いられ、工場排水等の規制項目の一つである。過マンガン酸カリウムもしくは二クロム酸カリウムが水中の有機物を酸化するときに消費する酸素量として表され、この値が大きいほど汚濁の度合いが大きい。</p>
PRTR 法	<p>特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律 (Pollutant Release and Transfer Register)</p> <p>人の健康や生態系への影響を生じる恐れがある 354 の化学物質について、製造業を中心とした 23 業種の一定規模以上の事業所からの排出・移動量を平成 14 年度から都道府県を經由し、国の主務大臣へ届け出なければならない法律</p>
トルエン	<p>化学式 C₇H₈、分子量 92 の芳香族化合物でベンゼンの水素原子の一つをメチル基で置換した構造を持つ。分子量 92. 14、融点-93°C、沸点 110. 6°C、比重 0. 8669。CAS 登録番号は 108-88-3。無色透明の液体で、水には極めて難溶。アルコール類、油類等をよく溶かし、溶媒として広く用いられる。日本では製造／使用／廃棄に関して、管理・届け出が必要な化学物質として PRTR 法の第一種指定化学物質 に指定されている。</p>
キシレン	<p>化学式 C₈H₁₀、分子量 106. 17 の芳香族化合物で、ベンゼンの水素のうち 2 つをメチル基で置換した構造を持つ。構造式 3 種類の異性体が存在し、1, 2-ジメチルベンゼン (オルトキシレン)、1, 3-ジメチルベンゼン (メタキシレン)、1, 4-ジメチルベンゼン (パラキシレン) がある。毒劇法により医薬用外劇物に指定されている。工業製品としては異性体混合物を「キシレン」と呼ぶが、キシレンの 2004 年度日本国内生産量は 5, 394, 954t、工業消費量は 3, 694, 999t である。パラキシレンの 2004 年度日本国内生産量は 3, 164, 499t、工業消費量は 126, 737t、オルトキシレンの 2004 年度日本国内生産量は 215, 137t、工業消費量は 68, 583t である。シックハウス症候群の原因物質のひとつであるといわれている。日本では製造／使用／廃棄に関して、管理・届け出が必要な化学物質として PRTR 法の第一種指定化学物質 に指定されている。</p>

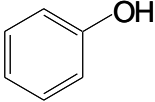
吸着	<p>固体表面に物質が捕捉される現象をいう。吸着される物質を吸着質、吸着する物質を吸着剤という。代表的な吸着剤として、活性炭、シリカゲル、ゼオライトなどがある。吸着には、大別して物理吸着と化学吸着がある。物理吸着はファンデルワールス吸着とも言われ、分子間に働く「分子間力」という弱い結合力によるものである。化学吸着は分子間での電子の授受による化学的な相互作用によるもので、物理吸着よりも結合力は強い吸着である。</p>
オゾン	<p>分子式 O_3 の酸化剤。その強力な酸化力から脱臭、殺菌、有害有機物の分解など種々の作用を示し、浄水処理、脱臭処理等様々な分野での応用が期待されている。</p>
活性炭	<p>石炭やヤシ殻等の炭素物質を原料として高温でガスや薬品と反応させて作られる微細孔（直径 10～200 Å）性炭素。微細孔は炭素内部に網目状に構成されており、その微細孔の壁が大きい表面積（500～2500m²/g）となりその表面に種々の物質をすることが可能。90%以上が炭素で、残りは酸素、水素、また Na, Si, K, Ca, Fe 等も含有する。</p>
ゼオライト	<p>多孔性アルミノ珪酸塩。様々な構造を有するゼオライトがあり、吸着剤、クラッキング触媒等、様々な用途で使用されており、さらに広く応用が期待される。</p>
トリクロロエチレン	<p>有機塩素系化合物の一種である。エチレンの H 原子 3 つが Cl 原子に置き換わったもの。示性式は $Cl_2C=CHCl$。脱脂力が大きいため、半導体産業での洗浄用や、クリーニング剤として 1980 年代頃までは広く用いられていたが、発ガン性が指摘されており土壌汚染や地下水汚染を引き起こす原因ともなる。水質汚濁並びに土壌汚染に係る環境基準が定められている。日本では製造／使用／廃棄に関して、管理・届け出が必要な化学物質として PRTR 法の第一種指定化学物質に指定されている。</p>
アセトアルデヒド	<p>アルデヒド類の一つ。人体にとって有毒物質で、飲酒後の悪酔いや二日酔いの原因となる。また、建築材から放出されるアセトアルデヒドはシックハウス症候群の原因として問題視されており、これを含まない建築材の採用も進んでいる。日本では製造／使用／廃棄に関して、管理・届出が必要な化学物質として PRTR 法の第一種指定化学物質に指定されている。</p>
吸着剤ハニカム	<p>ハニカム状の担体に吸着剤を担持したもの。粒状吸着剤よりもカラムへの充填密度は低下するものの、圧損が圧倒的に小さく大処理容量の装置への適用に向いている。</p>

紫外吸光度計	ある物質を一定幅のセルに入れ、紫外域の波長を通すことによりその吸光度を測定する方法。この値からランベルトーベールの法則を利用することにより、その物質の濃度を算出することができる。
GC-MS	ガスクロマトグラフィー質量分析計。GC（ガスクロマトグラフィー）により、測定サンプル中の成分を分離し、GCの出口から直接にMSに導いて分離した多数の成分を測定する方法。SCANモードとSIMモードの2種類のタイプがあり、SCANモードはあらかじめガスクロマトグラフィーにより単離されたある物質を質量分析計に導入する際に、四重極に印加する高周波電圧や直流電圧を一方向に連続的に変化させることによって設定した質量範囲のマススペクトルを得ることができる。これを付属のライブラリ内にある様々な物質のマススペクトルパターンと比較することによりその物質の定性（同定）が可能。またSIMモードはある特定の質量数について検出を行い、この強度からその物質の定量が可能。
炭化水素計	水素炎イオン化検出装置（FID）を用いた全炭化水素を測定する分析器。FIDは水素炎中で有機炭素含有量に比例するイオン電流を発生させることから、この電流を計測することにより炭化水素量測定することができる。
CHN計	物質に含有される炭素、水素、窒素成分の含有率を定量する分析計。分析サンプルを燃焼管内で燃焼し、二酸化炭素、水蒸気、NO _x に転化。二酸化炭素、水蒸気は直接定量、NO _x は銅還元管を通してN ₂ に更に転化させた後定量することによってC、H、Nの割合を算出する。
PSA	Pressure Swing Adsorptionの略。吸着剤の吸着選択性を利用し、数種類の成分が混合した気体から一種類の気体の成分を分離し、100%近くまで濃縮する方法。その運転シーケンスは吸着工程、再生工程からなり、2塔式を採用することにより、これらの操作を交互に行うことができ連続処理が可能である。
HPLC	高速液体クロマトグラフィー（High Performance Liquid Chromatography）。液体中に含まれる物質を分離カラムに流通しそのアフィニティ、保持時間の違いを利用して分離し、付属の検出器により定性・定量を行うための分析器。
示差屈折検出器	無機物から有機物、低分子から高分子物質まであらゆる溶液の微小濃度差を屈折率の差としてとらえる汎用性の高い検出器。
インジゴ吸光度法	オゾン濃度を測定するための一つの方法。インジゴトリスルホン酸カリウムがオゾンと1:1で反応し、波長600nm付近の吸光度を失う性質を利用して、オゾン濃度を定量する。

シリカライト	<p>ゼオライトの一種。図のような結晶構造（MFI 構造と呼ばれる）を有する。</p> 
ゼオライト USY	<p>ゼオライトの一種。図のような結晶構造（FAU 構造と呼ばれる）を有する。</p> 
ゼオライト USM	<p>ゼオライトの一種。モルデナイトとも呼ぶ。図のような結晶構造（MOR 構造と呼ばれる）を有する。</p> 
ゼオライト β	<p>ゼオライトの一種。図のような結晶構造（BEA 構造と呼ばれる）を有する。</p> 
メソポーラスシリカ MCM-41	<p>米国 Mobile 社が開発した口径数十 Å の均一な一次元円筒状細孔が六方対称に配列したハニカム構造を持つ多孔質シリカ/シリケート。使用した他のゼオライトに比べて、細孔孔径が比較的大きい。</p>
SV	<p>空間速度（Space velocity[h^{-1}]）。装置運転条件であり、また装置性能の指標。単位体積当たりの流通体積/カラム体積で定義される。</p>
破過点	<p>吸着装置に吸着質を流通した場合、吸着剤は徐々に吸着質を吸着しきれなくなり限界を迎えたとき、徐々に装置より漏れ出す。これを破過という。破過を迎えたとき、吸着剤の再生、もしくは交換等が必要となり、その目安として流過率 5%、10%等を定める。これを破過点と呼ぶ。</p>
触媒被毒	<p>触媒反応における原料、もしくは生成物が触媒の反応活性点に不可逆的に吸着し、その反応活性が失われる現象。触媒劣化の一形態。</p>
境膜	<p>流体から吸着剤表面に吸着質が物質移動する際、流体-吸着剤表面間の物質移動を実質支配している領域。この領域に大きな吸着質の濃度勾配が現れる。</p>

プラズマ分解法	放電プラズマを利用して有害ガスを分解処理する方法。この方法は比較的高濃度の処理ではなく比較的低濃度の処理に向いている。
活性炭吸着水蒸気再生法	活性炭で有害ガスを吸着除去し、高温水蒸気で使用済み活性炭の再生を行う有害ガス除去技術。
蓄熱式燃焼炉	 <p>図に示すように蓄熱体を組み込んだ1対の燃焼装置を1つの炉に取りつけて交互に燃焼させる方式。蓄熱体には耐熱セラミック製のハニカムやペレットストックを使用し、排出側の流路に設置した蓄熱体に排気ガスの熱エネルギーを蓄積する。排ガスは蓄熱体を流れる間に熱交換し、蓄熱体から出てきたときには蓄熱体の出口温度である吸気した空気温度にほぼ近くなっており、高い熱効率を示す。</p>
DOC	溶存有機炭素 (Dissolved Organic Carbon)。水中に溶存する有機炭素、もしくはその濃度。
細孔	吸着剤の持つ微細構造を有する孔。直径 2nm 以下のものをミクロ孔、2~50nm のものをメソ孔、50nm 以上のものをマクロ孔と呼ぶ。
TOC	全有機炭素 (Total Organic Carbon)。水中に存在する有機炭素、もしくはその濃度。

A- (4) 「マイクロバブルの圧壊による有害化学物質の高効率分解技術の開発」

用語	解説
マイクロバブル	通常の気泡は水の中をフワフワと上昇して、ついには表面でパンとはじける。これに対してマイクロバブルと呼ばれる直径が 50 μm 以下の微細気泡は、水中で縮小していき、ついには消滅（完全溶解）してしまう。これはマイクロバブルが極めて優れた気体の溶解能力を持っていることを示している。近年、このマイクロバブルの特徴を利用して様々な工学的利用が検討され始めている。
マイクロバブル発生装置	水は表面張力の高い物質であるため、マイクロバブルを作ることは容易ではなかったが、近年、主に日本において発生方法がいくつか確立された。装置は大きく分けて、高濃度型と低濃度型がある。一般的に低濃度型は直径が 30 μm 付近に分布のピークがあり、気泡濃度は 100~200 個/mL 程度である。これに対し、高濃度型は 10 μm 付近に気泡分布のピークがあり、気泡濃度は 2,000 個/mL 以上である。
マイクロバブルの圧壊	マイクロバブルの研究を実施する過程で、これに物理的な刺激を施すと大量のフリーラジカルが発生する現象を見つけた。これは超音波などで認められるメカニズム（断熱圧縮に伴う超高温場の形成）とは異なり、気泡の急激な縮小に伴って生じる超高濃度イオン場の形成に関与している。特徴として、ラジカル発生量が極めて多く、また水に溶けている電解質イオンの種類によりラジカル種が変化する。また、マイクロバブルとしてオゾンを利用すると、そのラジカル発生量が飛躍的に増加するため、水中の有機化学物質の分解に使用することができる。
フェノール	PRTR 対象物質の一つ。難分解性物質であり、処理が難しい。  Phenol
COD	化学的酸素要求量 Chemical Oxygen Demand 水中の有機物を酸化剤で分解する際に消費される酸化剤の量を酸素量に換算したもので、水質の有機物による汚濁状況を測る代表的な指標。測定方法は世界的には重クロム酸ナトリウムで酸化する方法が一般的だが、日本では日本工業規格 K0102（工場排水試験方法）に準拠して、硫酸酸性で過マンガン酸カリウムにより沸騰水浴中（100°C）で 30 分間反応させたときの消費量を測定し、試料中の有機物の汚濁度を算出する。
BOD	生物化学的酸素要求量 Biological Oxygen Demand 水中の有機物が微生物の働きによって分解されるときに消費される酸素の量のこと、河川の有機汚濁を測る代表的な指標。なお、BOD は生物によって代謝されやすい有機物を表現しているもので、代謝されにくい物質は測定値のなかに入っていない。

TOC	<p>全有機炭素量 Total Organic Carbon</p> <p>水中に含まれる有機物中の炭素の総量を測定することにより水の汚れの度合いを知ろうとする指標のひとつ。有機物は数が膨大なので、種類に関係せずまとめて測定する方法として BOD、COD 等が使われてきた。これらの項目は微生物や酸化剤により一定時間内に分解されるものの総量を測っているため、有機物の種類により分解率が異なり、指標として課題がある。TOC は 900℃程度の高温で有機物を分解し、二酸化炭素にして炭素量を測定するので、分解率の問題がなく、測定時間が短くて済むことや連続測定可能という利点もある。</p>
-----	--

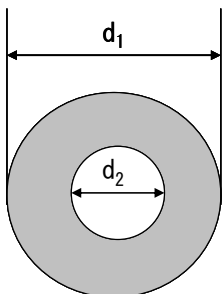
A - (5) 「大気圧・空気プラズマを利用した揮発性有機化合物 (VOC) 等の無害化装置の開発」

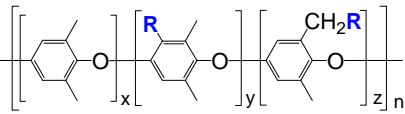
用語	解説
PRTR 制度	人の健康や生態系に有害なおそれがある化学物質について、環境中への排出量及び廃棄物に含まれての移動量を事業者が自ら把握して行政庁に報告し、さらに行政庁は事業者からの報告や統計資料を用いた推計に基づき排出量・移動量を集計・公表する制度。
移動量	事業者がその事業活動に係る廃棄物の処理を当該事業所の外において行うことに伴い、当該事業所以外に移動する第一種指定化学物質の量。
大気圧プラズマ	プラズマとは、物質の電離により生じる正(イオン)と負(電子)の荷電粒子群を含み、全体として電氣的にほぼ中性の粒子の集団(電離気体)。大気圧プラズマとは、従来の技術では低圧(真空)下でしか安定発生させることが出来なかったグロー放電を大気圧(常圧)下で安定に発生させたもの。またはこのようにして発生させたプラズマ。
非平衡プラズマ	電子温度だけが高く、ガス温度が低い、熱平衡に達していないプラズマ。時間の経過と共に熱平衡プラズマへと移行する。
ラジカル	不対電子を持つ化学種。
流量と風量	ガスが単位時間当たりに移動する量(体積・質量)。一般的には流量とは流体(気体と液体)の移動量を表わし、風量は気体の移動量のみを表わす。
ワンパス処理	ガスが VOC 分解処理リアクタ内を一度通過して、所定濃度まで VOC 濃度を下げることが出来る処理方法。循環式装置に比べて、設備を簡易・小型化できるというメリットがある。
パルス	短時間の間に急峻な変化をする(通常単発の)信号の総称。電子回路の分野では一定の幅を持った矩形波のことを言い、必ずしも単発とは限らない。
クロマトグラフィー	試料を固定相に接して流れる移動層に導入して、固定相及び移動相に対する成分の特性の差によって分離する成分分離手法。
クロマトグラム	クロマトグラフィーにおいて、試料成分の溶出状態を時間に対してプロットした図。
電磁干渉	電気機器のケーブルや電子部品が電磁波を拾って、機器内部に余分な電圧(ノイ

	ズ)を発生させること。
放射電界妨害強度(EMI)	意図的ではなく、装置から直接空中に放射される電界の強さ。
電磁シールド	電波、電磁場、静電場の結合を低減させることができるシールド。
NO	一酸化窒素。窒素酸化物(NO _x)の一つ。光化学オキシダント、酸性雨の成因の一つとされる。 【環境基準】窒素酸化物(NO _x)の排出基準：ガス専焼ボイラーで 60～150ppm。
ジシアン(dicyan)	シアノ基同士が結合した構造を持ち、特有の臭気をもつ無色の気体または液体。冷水と反応してシアン化水素とシアン酸を生じる。 【環境基準】シアン化水素の致死量：270ppm～5000ppm(0.5%)
亜硝酸メチル	エーテル様の香りを持つ透明の液体。CH ₃ ONO 【環境基準】引火しないよう熱源や静電気に注意する。
ギ酸メチル	芳香臭のある無色液体。極めて引火しやすい。HCOOCH ₃ 【環境基準】引火しないよう熱源や静電気に注意する。
硝酸メチル	甘い芳香臭を持つ、無色透明の液体。CH ₃ ONO ₂ 引火点が低いので引火・爆発の危険性有。第5類危険物。 【環境基準】引火しないよう熱源や静電気に注意する。
光化学オキシダント	窒素酸化物(NO _x)及び炭化水素類(揮発性有機化合物)を主体とする一次汚染物質が、太陽光線を受けて光化学反応を起こすことによって発生する二次汚染物質。高濃度では、粘膜への影響がある。
三元触媒	プラチナなどを使った酸化・還元触媒装置。炭化水素、一酸化炭素、窒素酸化物を、水、二酸化炭素、窒素に還元もしくは酸化させる。自動車の排気処理等に用いられる。
A/F	空燃比。燃料、空気混合気中の、空気量/燃料量。
理論 A/F	空気と燃料が理想的な濃度で混合して完全燃焼するエンジンの燃焼方式(状態)
ppm、ppmC	容量濃度。100万分の1を表わす。ppmCは炭素換算濃度。ppmに炭素数を乗じる。
HC	炭化水素(Hydrocarbon)。多種の発生要因があるが、その中の一つの要因として、内燃機関が不完全燃焼することにより発生する。ヒトがHCの蒸気を吸引する事により、急性の神経症状を発生したり、シックハウス症候群などの慢性症状をひき起こす。 【環境基準】非メタン系炭化水素の中央環境審議会指針値：午前6時から9時までの3時間平均値は 0.20ppmC～0.31ppmC
THC	全炭化水素(Total Hydrocarbons)。炭化水素全体を意味する。

A-(6)「デュアルメンブレンシステムによるガソリンベーパー回収装置の開発」

用語	解説
アイランド	ガソリンスタンドに計量機を設置するためのステージ。床面より15cm位高く、車の衝突を防ぐ役割も兼ねている。
気液分離槽	ガソリンベーパーと空気の混合気体は、凝縮器によってガソリン液に変換されるが、一部のガソリンベーパーと空気は気体のまま存在している。この液と気体を分離させるための槽。
凝縮器	ガソリンベーパーと空気の混合気体を圧縮・冷却によって液体ガソリンに変換する槽。 凝縮器は冷凍機によって温度管理されている。
計量機	ガソリンスタンドで車へ燃料を補給するための計量装置。
通気管	ガソリンスタンドの地下タンクでの揮発ガスをタンク内部から外気に自然に放出させ、タンク内圧力を一定に保つための外気に開放されたもの。
米国カリフォルニア規制値	米国カリフォルニア州でガソリンベーパーの排出規制をしている規制値でガソリンスタンドから排出するガソリンベーパーの回収率を95%以上と規制した値。カリフォルニア州は、ガソリンベーパー排出規制が世界で最も厳しいとされている。
膜分離	膜を界にした二つの空間のガス分圧差を推進力としたガスの膜透過現象を利用し、高透過成分を透過側に、低透過成分を未透過ガス側に濃縮する方法
溶解拡散型透過	膜の透過速度を支配する大きな因子としてガスの膜への溶解度と膜中の拡散係数があり、この二つのどちらも寄与する透過挙動を溶解拡散型透過と呼ぶ。
VOC透過膜	溶解拡散型透過の膜で特にガソリン成分(VOC)の溶解度が高く、その溶解度の寄与が透過現象を支配している膜(たとえばシリコンゴム膜)の特長を呼び名にしてVOC透過膜と称した。
分子ふるい型透過	膜の透過速度を支配する大きな因子としてガスの膜への溶解度と膜中の拡散係数があるが、拡散係数が支配する透過挙動を特に無機膜では分子ふるい型透過と呼ぶ。拡散係数支配の透過速度はガス分子径が大きいほど小さく、所謂ふるい効果が現れる。
シリコンゴム膜	シリコンゴム(シリコーンゴム)でできた膜で柔軟性に富みガス透過性能が高いことで知られている。ガスの溶解度の大小が分離性に大きく影響する典型的な膜。
ゼオライト	沸石とも呼ばれる。珪素とアルミニウムが酸素を共有してつくる3次元の網目構造の中に、組成比やアルカリ土類金属の含有によって0.1nmオーダーの大きさの異なる空孔を有する無機化合物の総称。 これを膜状に形成したものをゼオライト膜と称しており、ゼオライトの持つ微

	細孔をガスが分子ふるい型で透過するので分離性が発現する。
A型ゼオライト	LTA ゼオライトとも言う。珪素とアルミニウムが酸素を共有して形成している環構造中に8つの酸素原子を含む結晶構造を有し、0.41 nmの細孔径を持つ。イオン交換能に優れ、Na-A型、Ca-A型などが知られている。
チューブラー型膜	形状がチューブ（管）状の膜。
中空糸膜	形状がチューブ状の膜であるが、特に外径が約1mm以下の場合に中空糸（ホローファイバー）膜と呼ぶ。
膜モジュール	分離膜をプロセスラインに接続して使用するために、供給口、透過口、未透過排出口を持つ容器に膜を収納した最小単位の装置
理想分離係数	Aガス透過速度のBガス透過速度に対する比をA/Bの理想分離係数と呼んでいる。
透過速度	単位膜面積、単位圧力差、単位時間あたりの透過量のことを透過速度（あるいは透過率）と定義している。
回収率	膜装置への供給ラインに含まれるガソリンペーパーの量を G_f 、装置から大気に排出されるラインに含まれるガソリンペーパーの量を G_r とした時、 $(G_f - G_r) / G_f$ で定義するパラメータ。
露点	気体の乾燥度を表す一つの指標で、温度を下げた時に含有水蒸気が凝縮して液化する温度のこと。水蒸気含有量が少ないほど低い温度となる。
相当直径: d_e	<p>環状路の断面の代表長さとして、4（断面積）/（辺長）で定義した値を相当直径と称する。直径d_2のチューブラー型ゼオライト膜を内径d_1の管に収納した単管モジュールの相当直径は下記のようになる。</p>  $d_e = 4 \frac{\frac{\pi}{4}(d_1^2 - d_2^2)}{\pi(d_1 + d_2)} = d_1 - d_2$

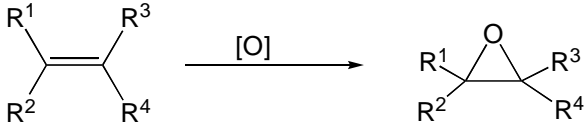
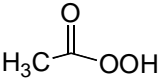
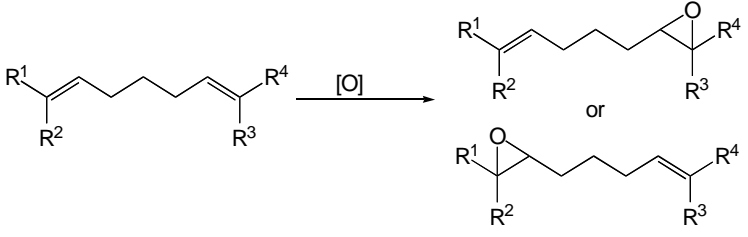
PPO, CPPO, SPP0	<p>PPO:下記の構造式で R が水素原子である高分子がポリ 2,6-ジメチル-1,4-フェニレンオキッドであり、その略号を PPO とした。</p>  <p style="text-align: center;">$R = \text{SO}_3\text{H}, \text{CO}_2\text{H}$</p> <p>置換反応により R が CO_2H (カルボキシル基) となった構造の略号を CPPO とし、同様に R が SO_3H (スルホン酸基) となった構造の略号を SPP0 とした。</p>
-----------------	---

A-(7)含塩素VOC高効率分解固定化装置の研究開発

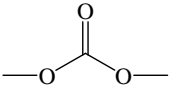
用語	解説
含塩素 VOC	<p>塩素を含む有機化合物で以下のような物質。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ジクロロメタン (DCM) ・ トリクロロエチレン (TCE) ・ テトラクロロエチレン (PCE)
機能化	高比表面積、炭素含有等によって、反応性を高めること
炭素含有	炭素は、原料焼成により酸化カルシウムの表面に析出した状態で存在する。含塩素 VOC の分解を促進する。
gPROMS	Process Systems Enterprise Ltd. により商品化されたダイナミックシミュレーションソフトウェアで、反応、晶析、非平衡分離といった、複雑な物理化学操作を解析し、高精度な数理モデルを構築し、装置内の反応に伴う体積変化、物質移動及び熱移動等をシミュレーションする。
比表面積	有る物体についての単位質量当たりの面積を示すもの。触媒等、表面での活性が重要なものについては、その表面積が大きいこと程、良い性能が得られる。
HVFU	<u>H</u> alide <u>V</u> OC <u>F</u> ixation <u>U</u> nit の略 (含塩素 VOC 固定化装置と同意義)
水酸化カルシウム	分子式 : $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 高い比表面積を持つ水酸化カルシウムは含塩素 VOC 分解固定化剤の原料
酸化カルシウム	分子式 : CaO 高い比表面積水酸化カルシウムを焼成し、酸化カルシウムとして含塩素 VOC 分解固定化剤としている。
塩化カルシウム	分子式 : CaCl_2 含塩素 VOC 中の塩素は分解固定化剤中の CaO と反応して塩化カルシウムとして固定化される。

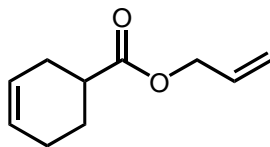
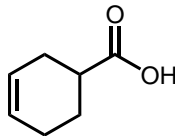
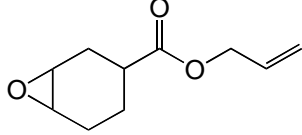
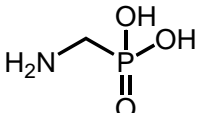
炭酸カルシウム	分子式 : CaCO_3 VOC 中の炭素は CO_2 として排気されるが、一部は CaO と反応して炭酸カルシウムとなる。
クロスフロー	一方の流れに対し、直角方向に進む流れ。ここでは、反応器中の分解固定化剤が上方から下方へ流れるのに対して、含塩素 VOC を含むガスは水平に流れる。

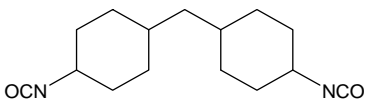
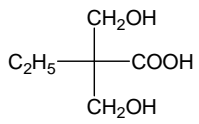
B- (1) 「非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発」

用語	解説
過酸化水素(水溶液) [H_2O_2]	融点 0.9°C 、沸点 152°C の無色透明液体。水に任意の割合で混合し、通常は水溶液として市販される(3%水溶液はオキシドール)。酸化作用はそれほど強くないため、酸化反応に利用するには触媒などの活性化手段が通常必要となる。安価で腐食性がなく、反応後に水以外の副生物が生じないために環境負荷が小さい。
オレフィンのエポキシ化	2重結合を有する化合物(オレフィン)に酸素原子を付加してエポキシド(オレフィンオキシド)を生成する反応。従来から過酢酸等の過酸がエポキシ化剤として用いられている。  過酢酸: 
選択的モノエポキシ化	2つ以上の2重結合を有する化合物において、1つのみをエポキシ化する反応。少なくとも2種類の異なるモノエポキシ化合物が生成するほか、2つの2重結合がエポキシ化されるジエポキシ化合物も生じるので、あるモノエポキシ化合物を選択的に得るためには、エポキシ化反応を厳密に制御することが要求される。そのため選択的モノエポキシ化反応は一般的には低生産的(低反応性、低選択性)であるとされている。 
相間移動触媒	水相と有機相の2相系反応において、2相に別々に存在する化合物のやり取りを行うことにより反応を開始させたり、反応速度を上昇させたりしながら、化

	合物の種類をかえる役目をする物質。それ自身は反応の前後で変化しない。
シリカゲルクロマトグラフィー	シリカゲル等の充填剤が均一につまった分離管内に試料を有機溶媒によって展開させ、充填剤との相互作用の差を利用して各成分に分離させる方法。ある程度の試料量を展開できるため、各成分の定性的な情報（構造決定、物性測定）を得ることができる。単離収率を求めたりする際にも利用される。
ガスクロマトグラフィー法	シリカゲル等の充填剤が均一につまった分離管内に気化した試料をキャリアガスによって展開させ、分解することなくガス状で通過させて各成分に分離させる方法。各成分の定量的な情報（反応収率）を得ることができる。
基質（原料）転化率	原料のモル数に対する生成物のモル数の合計の割合。反応が完全に進行して原料がすべてなくなった場合には 100%となる。未反応の原料を定量する事により算出される。
過酸化水素効率	消費した過酸化水素に対するモノエポキシ化合物の選択率。大過剰の過酸化水素をモノエポキシ化反応に使用すると過酸化水素効率は大幅に低下する。
触媒原単位	得られた生成物の重量単位当たりに対する使用した触媒の総重量。触媒の活性能力を示す指標となる。
ソルダーレジスト	プリント基板のハンダ付けを行う時に、ハンダ付けに必要なランド以外のパターンなどにハンダが付かないようにする永久絶縁皮膜。ハンダ付け後は、回路間の絶縁性を保ち導体を保護する役目をする。
誘電率	正確には比誘電率のこと。電界が加えられた時に蓄えられるエネルギーの大小。平行平板の絶縁体（誘電体）における静電容量 $C[F]$ は電極板の面積 $A[m^2]$ に比例し、電極板の間隔 $l[m]$ に反比例する。比例定数 ϵ は物質によって固有の値となり、これを誘電率という。また、真空の誘電率との比を比誘電率という。
イオンマイグレーション	導体回路間に印加された電圧により、絶縁体の表面、界面および内部を導体金属が溶解してイオン化し、移動、析出する現象。
脂環骨格	シクロヘキサン、シクロペンタン、ノルボルナンなどの環状脂肪族を持つ骨格。
ガラス転移温度	高分子物質を加熱した場合にガラス状の硬い状態からゴム状に変わる現象をガラス転移といい、ガラス転移がおこる温度をガラス転移点（温度）という。
プリント配線板	いわゆる基板のこと。絶縁基板上に、導体の配線パターンを形成した板。
リフロー工程	プリント配線板上への部品実装の工程の1つ。ペースト状になっているハンダを使い、スクリーン印刷やディスペンサで基板にハンダパターンを形成した後、部品を載せて熱を加え、ハンダを熔融させて部品を接続する工程。
ボンダー	プリント配線板に IC チップや他の基板等を熱圧着する装置。
熱機械分析装置（TMA）	試料を加熱または冷却すると、膨張・収縮等機械的な寸法変化を起こす、これを差動トランス等で検出し測定する装置。熱膨張の変化をとらえることにより、ガラス転移温度を測定することができる。

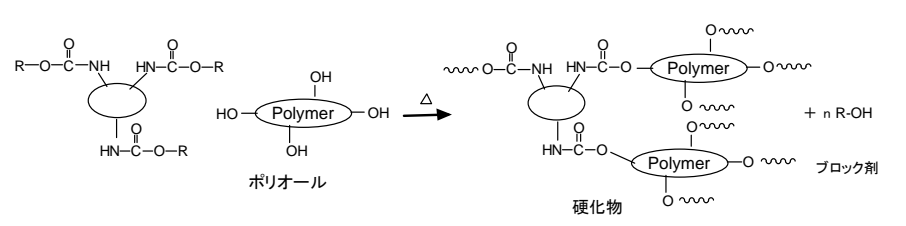
線膨張係数	材料の熱膨張の割合。温度変化 1℃あたりに材料が可逆的な寸法変化する割合のこと。
体積固有抵抗	体積抵抗率ともいう。単位体積当たりの電気抵抗値のこと。1cm ³ の立方体の互いに向かい合う2面間の抵抗値と等価で、単位は(Ω・cm)で表される。
RF インピーダンスアナライザ	サンプルに加えた電圧と電流、および、その位相から高周波における複素インピーダンスを測定する装置。平行平板のサンプルでは、このデータと厚み、電極形状から誘電率を計算することができるため、誘電率測定装置としても利用できる。
HHBT 試験	High temperature and High humid Bias Test : 高温高湿バイアス試験の略。高温・高湿条件下でサンプルに電圧を印加してイオンマイグレーションおよび絶縁劣化を評価する試験。
電圧バイアス	電圧印加のこと
デンドライド	プリント配線板の配線間などに樹枝状に発生するイオンマイグレーション析出物。デンドライドが配線間を貫通すると、配線間がショートしてしまうため、プリント配線板の重大な不良原因である。
無電解金メッキ	電気エネルギーを用いなくて金属水溶液中の金属イオンを置換反応、あるいは酸化還元反応により、下地表面に金メッキをする方法。先に無電解ニッケルメッキを行い、その上に置換金メッキ膜を形成する。強酸のメッキ液を使用するため、ソルダーレジストに耐薬品性が必要になる。
ハンダ耐熱性	ハンダ付けの際に必要な耐熱・耐薬品(フラックス)を評価する実用試験。ソルダーレジストがパターニングされたプリント配線板にフラックスを塗布後、熔融ハンダ(260℃程度)に所定時間浸漬し、ソルダーレジストの損傷の有無を評価する。
カルボキシル化合物	カルボキシル基(-COOH)を持つ化合物の総称。
ウレタン化合物	一般的にはウレタンエステル(H ₂ NCOOR)のことを指す言葉であるが、ここではウレタン結合(-NHCOO-)を持つ化合物の総称として使用されている。
ポリカーボネートジオール	カーボネート基(下図)を持つポリマーであり、その両末端が水酸基である化合物の総称。ポリカーボネートジオールから形成されるウレタンは耐加水分解性、耐熱性、耐候性に優れる。 

両末端 OH 基変性 ポリブタジエン	ポリブタジエンポリオールとも呼ばれ、ポリブタジエン骨格に1級水酸基を有する液状のホモまたはコポリマーである。それらのポリオールは非極性のポリブタジエンが主体なので、形成されるポリウレタンは疎水性が強く、耐加水分解性、低温特性、電気絶縁性に優れる。
ポリエーテルポリオール	主鎖にエーテル結合 (R-O-R') を持つポリオール。プロピレンオキサイドやエチレンオキサイド鎖からなるポリエーテルポリオールとテトラヒドロフランを主体とした開環重合により得られるポリテトラメチレングリコールとが代表的である。
低反り性	コーティング等で異なる材料の積層を行なうと、硬化時の収縮や、熱による線膨張率の違いにより応力が生じ、材料がフレキシブルな場合には応力を減らす方向に反りが発生する。フレキシブルプリント配線板に反りが発生すると、部品の実装工程が困難になるため、反りの発生しにくい（低反り）ソルダーレジストが求められている。
フレキシブルプリント配線板	プリント配線板のうち、可撓性のあるものをいい、一般にはポリイミドやPETフィルムのようなフィルムの上に銅やアルミの回路が形成されている。折り曲げられたり、繰り返し屈曲したりする部分の基板や、微細な配線として使用される。
CCAA	3-シクロヘキサン-1-カルボン酸アリルエステルの略 
CCA	3-シクロヘキサン-1-カルボン酸の略 
CEA	3,4-エポキシシクロヘキサン-1-カルボン酸アリルの略。 
AMPA	アミノメチルホスホン酸の略。過酸化水素によるエポキシ化反応時の触媒として使用される。 

ディスモジュール-W	ジシクロヘキシルメタン-4,4'-ジイソシアネートの商品名。 
DMBA	ジメチロールブタン酸の略。ポリウレタンのカルボキシル基導入ユニットとして使用される。 
エポキシアクリレート	エポキシ基の開環反応により生成した2級水酸基と（メタ）アクロイル基とを同一分子中に共有する化合物のことを示す。
PCU	ポリカーボネートジオールベースポリウレタン樹脂の略。

B-（2）「革新的水性塗料の開発」

用語	解説
固形分濃度	塗料中の樹脂・顔料・添加剤で、加熱しても蒸発せずに後に残る成分。略号をNV (nonvolatile matter) と表す。
DOP	Dosage on Pigment 顔料分散体調製における、要した分散剤量の顔料に対する重量比。難分散顔料系では大きな値となる。値の小さい分散剤は使用量が少ないことから分散安定化の効率が高いことを示す。
E型粘度計	見かけの粘度ではなく、絶対粘度（物理量）の測定に用いられる。回転するコーンプレートでサンプルのずり速度を測定する。
GPC	Gel permeation chromatography 多孔性ゲル粒子を充填したカラム中を試料分子を移動させ、分子の大きさによって移動速度が異なる（小さい分子ほど遅く溶出する。）ことを利用して分子量分布曲線を描かせる、高分子の分子量測定方法の名称。分子量測定その他、合成反応の追跡分析にも活用できる。
KJ法	川喜田二郎により開発されたアイデア発想法。基本的な手順は、①ラベル作成（データを一つの事柄毎に1枚1枚別のラベルに記入）②ラベル集め③表札作成④図解化⑤叙述化。
アセトン不溶分率	JISK6796（架橋ポリエチレン製（PE-X）管及び継手ーゲル含量の測定による架橋度の推定）に準拠して、バインダー樹脂と硬化剤からなるクリヤー塗膜をよく溶解するアセトン抽出溶媒に用いて抽出したあとの残存重量分率。硬化反応により塗膜が三次元架橋するとアセトンに不溶になる現象を利用した硬化性評価方法の1つ。ゲル分率 (gel fraction)ともいう

オリゴマー	構造単位の繰り返しの数（重合度）が2から20程度の重合体をいう。
グランドゲージ	緩やかな傾斜の溝をもつ本体と掻き取り用の刃との組み合わせから成る粒度測定用器具。溝の深いところに塗料を注ぎ浅い方に向けて塗料を掻き取り、粒の残った場所の溝の深さを読む。
グラフトポリマー	幹となるポリマーから違ったポリマーが複数分岐しているポリマーのこと。ブロックポリマーと同様に、分子内で機能がセグメント化されており、界面活性機能の発現に有利とされる。
クリアー塗料	塗膜形成主要素である樹脂と塗膜構成助要素である硬化剤および溶剤（または水）からなる塗料
グループインタビュー	定性調査による資料収集方法の一つ。6～8人の対象者を1室に集め、特定のテーマにつき準備されたインタビューガイドを用い、調査対象者にできるだけ自由に話し合ってもらふ。時間は通常2時間程度。
ザウター平均粒径	霧化粒子径を表す方法の一つで、スプレーされた粒径を個々に計測し、表面積で重みつけた計算方法で算出された値。 $SMD = (\sum D_3 \times \text{個数}) / (\sum D_2 \times \text{個数}) < D = \text{粒子径} >$ 大きな粒子が影響する割合を大きくした算出法
スプレー塗装（＝霧化塗装）	スプレーガンを使い、圧縮空気により塗料を霧化し塗装する最も一般的な方法。塗着効率が低いのが難点である
セッティング	エアースプレ塗装後、通常5分から10分程度放置することをセッティングと称し、その後に焼付乾燥を行う。この工程がないと、多量の溶剤や微細な気泡が残り、塗膜異常を引き起こすことになる。
タレ	塗料を垂直面、あるいは傾斜面に塗ったとき、乾燥までに塗料の層が下方に流れて、厚さの不均等な凸部を生じる現象。
ブリード	にじみ。塗料を塗り重ねた時の下塗りや、塗膜中の未硬化成分が表層にしみ出して、汚したり変色したりする現象。
プレヒート	乾燥の際の昇温過程を示し、焼付け前に塗膜から溶剤を蒸発させたり、平滑面を形成させるために温風で処理する。
ブロックイソシアネート硬化系	代表的な従来硬化系の1つ。熱（焼付け）硬化系として広く採用されている。下記の化学反応でブロック剤（アルコール、オキシムなど）が脱離し揮散することによりイソシアネートが生成しポリオール等と反応する硬化系である。  <p>The diagram illustrates the reaction between a blocked isocyanate and a polyol. On the left, the blocked isocyanate is shown as a chain of $R-O-C(=O)-NH$ groups, where the nitrogen atoms are also bonded to $-C(=O)-O-R$ groups. A polyol is represented as a chain of $HO-Polymer-OH$ groups. An arrow with a delta symbol (Δ) indicates the reaction. On the right, the resulting crosslinked polymer network (硬化物) is shown, where the $-NH-$ groups are now linked to the $-C(=O)-O-$ groups of the polyol chain. The released blocking agent (ブロック剤) is shown as $+ n R-OH$.</p>

<p>ブロックポリマー</p>	<p>構成モノマー配列が確率的なランダムポリマーに対し、分子内でセグメント化されたものをいう（下図）。一般に、異なる種類の高分子鎖は、水と油のように混ざり合うことはなく次第に分離していくが、ブロックポリマーの場合、異なる高分子鎖は化学結合によって結合しているため、マクロ相分離を起こすことはなく、界面に効率良く吸着して、少量でも界面活性機能を発現するとされている。AB ブロックポリマーの合成法としては、リビング重合法を用いて A→B の順に逐次重合する方法、別途合成した A 重合体と B 重合体の末端同士を結合させる方法などがある。</p> <div style="text-align: center;"> </div>
<p>マクロモノマー法</p>	<p>マクロモノマーのラジカル共重合反応によるグラフトポリマー合成法。</p>
<p>ミニエマルジョン重合</p>	<p>乳化重合において、モノマー分散滴を co-stabilizer の共存下で安定なサブμm以下の微粒滴にすると、重合はモノマー分散滴中で起こる。水に不溶性疎水性物質を内包する複合ポリマー粒子の合成に有利な方法である。</p>
<p>メラミン硬化系</p>	<p>代表的な従来硬化系の1つ。熱（焼付け）硬化系として広く採用されている。下記の化学反応でポリオールとの反応やメラミン同士の縮合反応で硬化する。アルコールやホルムアルデヒドが脱離し揮散する硬化系である</p> <div style="text-align: center;"> </div>
<p>メラミン樹脂</p>	<p>メラミン樹脂は、メラミンとホルムアルデヒドとの縮合反応によってできる熱硬化性の樹脂。硬度が高く、耐熱性や耐水性、耐候性に優れる。熱硬化性塗料の架橋剤として広く利用されている。</p>
<p>レベリング性</p>	<p>塗装後に塗液が流動して、タレなどの欠点を生じることなく均一で平滑な乾燥塗膜となるその塗料の能力。下地表面の性質、塗料配合、乾燥条件などに支配される。</p>
<p>ワキ</p>	<p>塗装時または乾燥時に塗膜中に発生するあわ、わきは局部的厚膜に起因し、主として焼き付けで生じる現象。</p>
<p>一液安定性</p>	<p>塗膜形成主要素であるバインダー樹脂と塗膜形成助要素の硬化剤を混合して貯蔵すると貯蔵中に反応して塗料粘度の上昇や固化し、塗料として使用できなくなることがある。バインダー樹脂と硬化剤を混合しても反応を起</p>

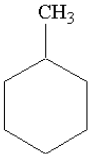

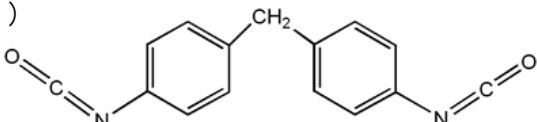
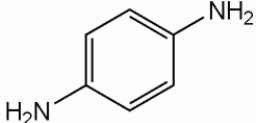
	こさず塗料が変化しない状態をいう。
一液形塗料	無希釈およびシンナー・水等の希釈剤（粘度調整剤）だけを調合して用いる塗料。2液形等の反応硬化剤を調合して用いる塗料に比べて可使時間の制限がない利点がある。
液体流量（＝塗料吐出量）	スプレーガンの塗料ノズルから噴出する塗料の量。毎分当たりの量で示すことが多い。
鉛筆硬度	JIS K 5400 に規定する鉛筆引っかき試験による塗膜の硬さ。塗膜を硬度記号の異なる鉛筆で引っかき、塗膜に傷ができた時の鉛筆の硬度記号で表した塗膜の硬さ。硬化性を評価する試験方法の一つ。鉛筆は JIS S 6005, 6006 に規定する一連の硬度記号 6B から 9H までを使用する。
乾性油脂肪酸	薄層にして空気中にさらしておくと、酸化重合により樹脂化する性質をもつ油。あまに油などのように多くはリノール酸、リノレン酸などのような不飽和度の高い脂肪酸を含み、ヨウ素価が高い。
乾燥プロセス	塗料がその期待される機能を果たすために、被塗装面に塗り、塗装後乾燥して塗料を塗膜に転化する工程。流動性ある塗液が塗膜に変化、硬化または固化することを乾燥という。
気体流量（≒エア圧）	スプレーガンの塗料ノズルから噴出する空気の量。毎分当たりの量で示すことが多い。また、一般的には圧縮空気を用いるため、圧力で代替している場合もある。
酸塩基相互作用	顔料表面へ吸着する高分子の設計指針として、酸性表面には塩基性官能基を、塩基性表面には酸性官能基を持つ高分子を適用すれば高い吸着力、分散安定化が得られるという考え。溶剤系塗料における分散剤設計の基本。
樹脂	粘稠な半液状または固状の有機物質で、加熱により軟化・溶融し液体となり、適当な溶剤に可溶性で、その溶液を塗布すると連続した被膜を作る。このような物質を総称して樹脂という。塗膜形成主要素となる。
焼き付け型塗料	金属などの素材に塗装した後、加熱乾燥炉に入れ、70～300℃の高温に加熱して、塗料を硬化させる。
上位下位関係分析法	ニーズ発見のために雑多な情報からユーザーニーズを抽出し、目的一手段の関係で層構造にすることでニーズ発見につなげるという解析手法。
疎水性相互作用	水系における疎水基の振る舞いとして、疎水基どうしが集合する現象が見られる。これは親水部の秩序化から排除された疎水基が水との界面エネルギーを最小にするよう互いに集合するためで、この原動力をして「相互作用」と称されるが、積極的な引力に基づくものではない。
調色	60種原色を計量、混和し、塗装、乾燥してできた塗膜が色相、彩度、明度、意匠（光輝材による）を含め、補修前の色と一致すること。
塗装作業性	塗料を素材に塗装する際の塗りやすさや、タレ・ワキ・すけ等の不具合の頻度、仕上がりの良否からの総合的、官能的な指標である。

塗装作業性が良い	時間及び設備コストが低く、誰にでも簡単安易に使用でき、塗装方法が簡便で、乾燥に時間がかからないこと。
塗膜異常 (ワキ、ピン、ヘコミ)	乾燥過程における塗膜表面または塗膜内に生じる代表的な欠陥：現象や現象の違いにより多くの名称があるが、ワキ、ピン（ピンホール）、ヘコミは乾燥硬化で気泡が原因とされる塗膜表面の凹凸や穴を指す。気泡が加熱による膨張で塗膜を破りワキ、ピンとなる、塗膜が軟質であると気泡の収縮でヘコミとなる。
塗膜外観	色んな意味合い要素を含み、一つは明度・彩度・色相といった色彩感覚で判断される部分であり、また塗膜に写る光の明るさ（光沢感）・増のくつきり感（鮮鋭性）、あるいはレベリング性や肉持ち感といった塗膜表面の仕上がり性で判断される。
乳化重合	乳化剤水溶液中にモノマーを分散させ（数～数十 μ ）、水溶性開始剤で重合を行う手法である。この時、重合は乳化剤ミセル内で優勢に起こり、分散滴はモノマー供給源として働く。ミセルから成長した粒子は、最終的に0.1 μ mのオーダーとなり、高分子エマルションの工業生産に広く用いられている。
認知的不協和理論	社会心理学者フェスティンガー（L.Festinger）が提唱。人間は自らの認知構造の中に矛盾した関係が出てきた時はこの不協和を減少させるように認知をゆがめたり、不協和を増しそうな情報を避けようとする、という仮説。
濡れ	顔料表面の固体/気体界面が固体/液体界面に置き換わる、液体の固体表面への吸着現象のこと。1次粒子（数十nm）の塊である市販顔料をほぐす解砕過程では、媒体の濡らしやすさが律速となる。水は表面張力が大きく濡らしにくい液体であるので、湿潤剤などが併用される。接触角で評価することが可能。
媒体加熱（＝間接加熱）	塗料を加熱する際に塗料を直接加熱するのではなく、熱に安定なオイルなどを用いて、塗料配管の周辺から管壁を通じて塗料を加熱する方式で、安全性に優れている。
微粒化	スプレー塗装の際に液体の塗料を霧状の小さな粒子にすること。微粒化手段は次のような方法がある。①圧搾空気の急激な速度と塗料の拡散作用による。②塗料をポンプで高圧にして小さな孔から噴出することにより空気と激突する。③高電圧の静電気による④回転遠心力による
変性グラフト法	反応性基を複数持つ線状ポリマー（主鎖）に末端反応性の高分子（側鎖）を結合させるグラフトポリマー合成法
誘導加熱	コイルに高い周波数の電流を流すことでその近傍に置かれた導電体（金属被塗物）に電磁誘導により誘導電流が流れ、ジュール熱によりその部分が急速に発熱する。金属を直接に加熱出来、温度制御性が高く、急速加熱も可能なのが特徴。
コンジョイント分析	コンジョイント分析の目的は、多次元の属性の組み合わせにより決定される順序関係が与えられたときに、各属性の相対重要度及びその各水準の効用値（部分価値）を推定するものである。とくに、この分析法は、消費者

	<p>の選好構造を明らかにするだけでなく、マーケティング分野での選好分析のための手法として、序数尺度の目的変数についての解析法の発展とともに適用されてきた。</p> <p>この分析において特に有効性が高いと考えられる点は、いくつかの属性間の各水準を組み合わせたプロファイル・カードに対する被験者の選好順位に関する応答に基づいて各属性に対するそれぞれの水準の効用値を分解的に算出できることである。</p> <p>(東京情報大学研究論集 Vol.1 No.1 (1997.8) pp.43-58 より)</p>
効用値	<p>効用値とは、個々の属性内の水準を採用することによって得られる効用の値、つまり対象者のその水準に対する魅力の度合いのことである。寄与率とは、各属性の中で、どの属性が選好を決定するにあたり重要な要素となっているかを表すものであり、つまり属性の重要度のことである。</p> <p>寄与率の算出方法には、一般的に2つの方法がある。1つは効用値の振れ幅による算出、他方は効用値の分散比による算出方法である。SPSSでは、前者による算出方法が採用されている。</p> <p>(東京情報大学研究論集 Vol.1 No.1 (1997.8) pp.43-58 より)</p>
自動車の塗膜構成	<p>自動車鋼板の塗装の目的(物体の保護・美観・機能の付与など)を確保するためには、数種類の目的別に性能をもった塗料を何層にも塗り重ねる必要があります。</p> <p>下塗り：鋼板との密着を確保し、防錆を目的とする。</p> <p>中塗り：下塗り層と上塗り層の密着を確保し、平滑性などを目的とする。</p> <p>上塗り：色彩や光沢を与え、商品価値の向上、必要な機能の付与などを目的とする</p>

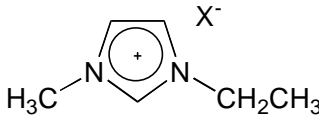
B- (3) 「溶剤フリー塗装技術の研究開発」

用語	解説
蒸着重合法	反応基を有する異なるモノマーを二種、蒸気でターゲットの表面上にあて、衝突・反応を起こす事で合成させる方法
モノマー	Monomer (単量体)。単純な分子構造を有する物質の総称。
脂肪族	<p>直鎖状炭化水素を基礎とする有機化合物の総称。</p> <p>(例)</p> $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$ <p>[エチレンジアミン]</p>

脂環族	ベンゼン環を含まない、環状炭化水素の総称。 (例)  [メチルシクロヘキサン]
芳香族	ベンゼン環を含む有機化合物の総称。 (例)  [ベンゼン環]
ジイソシアナートモノマー	イソシアナート(-NCO)基が2つ結合した、炭化水素化合物の総称。 (例)  [4,4' - ジフェニルメタンジイソシアナート]
ジアミンモノマー	第一級アミン基が2つ結合した、炭化水素化合物の総称。 (例)  [para-フェニレンジアミン]
マルチチャンバー方式	コアチャンバーの周囲に、搬入・成膜・搬出の役割を担う、各真空チャンバーを配置した型。
インライン方式	成膜に必要な一連の工程を自動で行うライン式の方法。
油拡散ポンプ	油蒸気による気体分子の捕捉を利用した真空ポンプ。 $10^{-3} \sim 10^{-6}$ Paの真空度を得られる。
メカニカルブースターポンプ	ロータを高速回転させ、高い真空度を得る真空ポンプ
ターボ分子ポンプ	ファンを超高速回転させ、非常に高い真空度を得る真空ポンプ。到達圧力は 10^{-10} Pa
蒸発源	蒸着重合で扱うモノマーを溜め、加熱させる容器。
成膜レート	単位時間あたりに成膜可能な膜厚。
ヤング率	曲げ剛性や、たわみ剛性とも呼ばれる。 ものを引っ張った時の『伸び』と『力』の関係から求められる。
ビッカース硬度	工業的に硬さを示す尺度の一つで、押し込み硬さの一種。 全ての金属に使用可能で、硬さ試験の中では最も汎用性が高い。
FT-IR (赤外分光光度計)	分子は固有の振動を有しており、その振動と同じ周波数の赤外線を吸収する。この原理を利用し、赤外線を当て含有する分子の構造を解析する機器。

B- (4) 「有害廃棄物フリー高効率エステル合成プロセスの開発」

用語	解説
マイクロ波	周波数が概ね 300MHz から 30GHz (波長: 1m~1cm) の電磁波で、レーダーや通信 (携帯電話、無線 LAN) などに用いられる他、物質を加熱する特性 (誘電加熱) を有し、電子レンジなどにも利用されている。
マイクロ波加熱	交流電場中に置かれた永久双極子を有する分子 (誘電体) が、マイクロ波電場の中で回転・振動し、その摩擦熱で誘電体自身が発熱する現象をマイクロ波加熱という。
エステル化反応	カルボン酸 (R-COOH) とアルコール (R' -OH) からエステル結合 (R-COO-R') を形成する反応。一般にカルボン酸の反応性が低く、高温・長時間の反応を要する。このため触媒を共存させる、酸塩化物 (R-COCl) に変換する、縮合剤を利用するなどの促進手段を用いて反応を促進する例が多いが、副生廃棄物の増加や製造コストの増大が問題となっている。
ブromo酢酸エステル	防カビ剤や医薬品、農薬などの原料に使われるエステル化合物。戦争中には催涙ガスとして使われたことがある。
CSTR	連続釜型反応装置: スケール・アップ合成において、単一の反応釜を使ってバッチ式生産を繰り返すよりも、反応釜を並列し連結して流通式による生産が有利である。その目的のための反応装置の総称。
シングルモード照射/ マルチモード照射	<p>[シングルモード照射] マイクロ波加熱で、マイクロ波の定常波を形成させ、この振幅最大値の場所に被加熱物を設置し加熱する手法。マイクロ波エネルギーの利用効率は高いが、照射部のサイズや形状が限定される。</p> <p>[マルチモード照射] アプリケータ (反応容器そのものまたは反応容器の格納庫) 内をマイクロ波がランダムかつ非定常に飛び回っている状態で加熱する照射方式。マイクロ波エネルギーの利用効率はシングルモードに比べやや低いが、反応容器のサイズや形状の制限が少ない。</p>
誘電体/誘電率 /誘電損失/誘電正接	<p>[誘電体] 静電場を加えると誘電分極を生じる物質。電氣的絶縁体と同義。</p> <p>[誘電率 (ϵ')] 分子が電場中で分極し、電荷を蓄積する度合い。正確には電速密度 D と電場 E との比 ($D = \epsilon' E$)。 (真空の誘電率との比を比誘電率といい、単に誘電率といえば比誘電率をさす。)</p> <p>[誘電損失 (ϵ'')] 物質中に入射したマイクロ波エネルギーにより発熱する度合い。マイクロ波を誘電体に照射したときの発熱量 P は以下の式で表される。</p> $P = \omega \epsilon_0 \epsilon'' E^2 V$ <p>ω: 角周波数 ϵ_0: 真空の誘電率 E: 電界強度 V: 被加熱物の体積</p> <p>[誘電正接 ($\tan \delta$)] 特定の周波数および温度で電磁場エネルギーを熱エネ</p>

	ルギーに変換する度合い。 $\tan \delta = \varepsilon'' / \varepsilon'$
電力半減深度	<p>マイクロ波は物質中で熱エネルギーとして失われマイクロ波エネルギー（電力）が半減する距離。水の電子レンジ（波長 2.45GHz）での電力半減深度は約 1.3cm (25°C) である。</p> <p>D : 半減深度 [m] f : 周波数 [1/sec] ε' : 比誘電率 $\tan \delta$: 誘電正接</p> $D \approx 3.32 \times 10^7 \times \frac{1}{f \times \sqrt{\varepsilon'} \times \tan \delta}$
イオン液体	<p>室温でも液体で存在する塩のこと。通常「塩」は食塩のように常温下では固体だが、塩を構成するイオンを比較的サイズの大きなある種の有機イオンに置換した場合、融点が低くなり、室温付近でも液体状態で存在するようになることがある。代表的な例としてイミダゾリウム塩などがある。</p> <div style="text-align: center;">  </div>
疎水場	水との相互作用（親和性）が小さい反応場。親油性の分子や基を濃縮し、選択的な反応を促進する効果等がある。
E-ファクター	化学合成反応で副生成物量を目的生成物量で除した値。一般的に石油化学製品では約 0.1、一般化成品で 1~5 以下、ファインケミカルで 5~50 以下、医薬・農薬で 25~1000 の値を取るといわれている。
オンデマンド合成ビジネス	注文があってから素早く化成品類を合成し、出荷する化成品製造ビジネスの形態の一つ。在庫の減少によるコスト低減効果あり。
共沸溶媒	平衡にある液相と気相で化学的組成が等しい場合、この混合溶液を共沸混合物という。この組成の液体は蒸留では各成分に分離できない。トルエンを溶媒とすることにより、この性質を利用して溶液中から水を除去することができる。

B - (5) 「革新的塗装装置の開発」

用語	解説
意匠性	塗装の仕上がり品質の良さを示す。光沢塗料の場合は、高い光沢感、塗膜均一性、平滑性、鮮映性などが意匠性を構成する要素となる。また、見た目だけではなく、密着性や耐摩耗性などの機能も意匠性を構成する要素である。
ガン	塗料を霧にして吹き付ける装置。塗装ノズル。先端に穴の空いた塗装チップと呼ばれる部品がついている。

ガス膨張液体	液体に気体を高圧をかけて溶かし込んだ流体。元々の液体より体積が増えることから、ガス膨張液体と呼ぶ。
霧化	液体を霧にする操作。スプレー塗装は、塗料を細かい液滴にして塗装する手法なので、非常に重要なプロセスとなる。
造膜	塗装対象物に塗料が付着してから膜になる過程をいう。
ユズ肌	塗装した表面に凹凸が生じて、ミカンの皮のような状態。光沢感が失われるので、つや消しが求められる場合を除いてユズ肌にならないような塗装が求められる。
シンナー	塗料の希釈剤。従来のプラスチック用塗料の場合は、塗料原液と同量の希釈剤を混ぜることが多い。
塗料ポリマー	塗料に含まれる樹脂成分。この成分が膜となって塗装対象物に残る。
真溶剤	塗料に含まれる有機溶剤で、樹脂成分や硬化剤などを溶かして、塗料を構成する。従来のプラスチック用塗料の場合は、塗料中の約半分が真溶剤である。
背圧	タンク式塗装の際に塗料を押し出すためにかける圧力。
バッチ式塗装 タンク式塗装	高圧タンクにあらかじめ塗料を仕込んでおき二酸化炭素をタンク内で溶解させた後に塗装する方式。ポンプが二酸化炭素を導入するポンプ1台で済む利点がある一方、連続して塗装出来る量が高圧タンクの大きさで決まってしまうため、大量の塗装には不向きである。
連続式塗装 流通式塗装	塗料と二酸化炭素の両方をポンプで送り、配管内で急速混合して塗装する方法、ポンプが2台必要になる欠点があるものの、高圧タンクが不要になり、かつ長時間の塗装に向くという利点がある。
クリア塗料	顔料や金属粉末を含まない、塗料ポリマーと真溶剤から構成させる色の付いていない塗料。
カラー塗料	顔料や金属粉末などを含んだ色の付いた塗料。
トップコート	光沢を持たせたり、傷つきにくくしたり、指紋をつきにくくするなど、機能を持たせるために表面に行うクリア塗装。
表面粗さ (Rz 値)	表面の凹凸の度合い。針を接触させて表面をなぞって凹凸を測る方法や、レーザー光を反射させて凹凸を測る方法などがある。 Rz 値は十点平均粗さとよばれるもので、表面粗さの1つの指標であり、粗さ曲線から、その平均線の方向に基準長さだけ抜き取り、この抜き取り部分の平均線から、最も高い山頂から5番目までの山頂の標高の絶対値の平均値と、最も低い谷底から5番目までの谷底の標高の絶対値の平均値との和で定義される。
UV 塗料	吹き付け後、溶剤成分を揮発させた後に、紫外線を照射して硬化させる塗料。
1 液塗料	硬化剤を必要としない塗料で、溶剤成分が抜けるだけで塗膜が形成される塗料のことをいう。
2 液塗料	主剤と硬化剤の両方を用いる塗料で、通常は塗料ポリマーと真溶剤で構成される主剤に、硬化剤を指定した比率で混合したのち噴霧する。なお、塗料の組み合わせごとに硬化時間が定められているために、混合後は速やかな噴霧が必要

	である。
メタリック塗料	金属のような光沢感を持つ塗料で、通常は金属粉末（主としてアルミニウム粉末）が含有されている。
無機・有機ハイブリッド塗料	耐摩耗性をあげるために、シリカなどの無機成分を含有した塗料。塗料ポリマーが有機成分であるため、無機成分との混合でハイブリッド塗料と呼んでいる。
高固形分塗料	通常の塗料は塗料ポリマーの含有率が約 50%であるが、その含有率を高めた塗料。塗料ポリマーが多い分真溶剤の含有量が減り、希釈剤として使用するシンナーが同量であれば、塗装時に排出される VOC 成分は削減される。ただ、一般に塗料ポリマーの含有率が高くなると高粘度になるため、専用の塗装機と高度な塗装技術が要求され、普及の障害となっている。
マイクロ混合器	内容積を小さくした混合器で、複数の液体を極めて短時間に混合することが出来る。内容積が小さいため、大流量の混合には不向きであるが、混合器自体が小さいため混合器の数を増やして対応するなどの技術開発が進められている。
T字混合器	直線流路と垂直に交わる流路によって構成される混合器。配管をつなぐ「ティコネクタ」を混合器として使用したもの。
スタンダードティ	T字の2つの流路が交わる部分の断面積を小さくするなどの細工をしていない通常のティコネクタ。
ロードドポリウムティ	T字の2つの流路が交わる部分の断面積を小さくして通常のティコネクタより内容積を小さくしたティコネクタ。流路が交わる部分の断面積が小さくなるため、流速が速くなり混合性能が向上する。
ノズルオリフィス	塗装ノズルの先端についたノズルチップの穴。塗料はこの穴を通り霧となる。穴の直径をオリフィス径という。なお、穴が円形でない場合は円形に換算した直径をオリフィス径と呼ぶ。
ダッシュマン反応	<p>迅速混合性の評価を行なうための反応で</p> $\text{H}_2\text{BO}_3^- + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{H}_3\text{BO}_3 \quad (1)$ $5\text{I}^- + \text{IO}_3^- + 6\text{H}^+ \leftrightarrow 3\text{I}_2 + 3\text{H}_2\text{O} \quad (2)$ $\text{I}_2 + \text{I}^- \leftrightarrow \text{I}_3^- \quad (3)$ <p>から構成される。この反応は中和反応と酸化還元反応の並列反応であり、式(1)は中和反応で瞬時に進行する。一方、酸化還元反応である式(2)は、反応速度は速いものの式(1)に比べると遅い。すなわち、混合性能が優れていると式(1)の中和反応が選択的に進行し、プロトンは中和にのみ使用される。混合性能が悪いと、反応が遅い酸化還元反応にもプロトンが使用されるため、I_2が生じる。I_2が生じると、式(3)の平衡反応により I_3^-が生じる。この I_3^-の濃度、ここでは瞬時測定が可能な UV 吸収 (352nm) を測定することで、混合性能を評価することができ、352nm での UV 吸収値が小さいほど、混合性能が良いと評価できる。</p>
塗着 NV	塗着 NV (non-volatile)。塗着した塗料の不揮発成分（樹脂成分）のこと。完全に造膜して乾燥した場合は、塗着 NV は 100%となる。

C- (1) 「有害化学物質削減支援ツールの開発」

用語	解説
マテリアルフロー	ある物質等について、その原料採取から、生産、加工、使用、廃棄・環境への排出、リサイクルまでをフロー図の形式で可視化したもの。
マクロフロー	対象化学物質の我が国全体での流れを示したもの。具体的には、本ツールでは、ある化学物質が、どれくらい市場に投入され、どのようなルートをとって、最終的にどうなるのかを、フロー図として表現したもの。
ミクロフロー	対象化学物質の個別事業所での物質収支を示す。具体的には、本ツールでは、業種(大分類、小分類)、従業員規模、化学物質、用途を指定した場合の、事業所内での平均的な物質フローをさす。
エンドオブパイプ (EOP) 削減対策技術	VOC を使用事業所の工場からの出口において、処理・回収装置を設置することにより削減する技術。
インプラント (IP) 削減対策技術	VOC を原材料・機器の変換、工程内改善といった手法により削減する技術。

I. 事業の位置付け・必要性について

1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

1.1 NEDO が関与することの意義

ヒト健康や生態系に対してリスクが懸念される化学物質は、我々の身の回りにある製品には必ず含まれており、広く利用される一方で、大量に廃棄されており、化学物質の製造、利用、廃棄段階などのライフサイクルに亘る適切な管理が潮流となってきた。一旦、環境中に排出された化学物質を回収、無害化するためには莫大なコストが掛かってしまい、あるいは、技術的な対応策が無い等の理由により事業者による自主管理が滞るケースもあり、産業界が単独で対応することは非常に難しい状況にある。このため、環境中に排出され、人の健康や生態系に影響を及ぼすことが懸念される化学物質のリスクを削減することが求められている。また、従来から事業者によって進められてきた自主的な化学物質管理を一層促進するため、安価で、多くの事業所において導入可能で、普及が期待でき、化学物質のライフサイクル全体に亘って効率的に化学物質を削減できる回収、無害化、代替等の新しいリスク削減技術を NEDO が主体となって開発することが求められている。

有害化学物質リスク削減基盤技術の開発は、社会的必要性が大きな国家的課題であり、事業者の自主的な化学物質管理を促進して、環境と調和した健全な経済産業活動と安全、安心な国民生活に資するものである。NEDO がもつ有害化学物質のリスクに関する知識、リスク削減技術開発の実績を活かして推進すべき事業である。

本事業開始前の平成 15 年、本事業に関して NEDO が作成した事前評価書(案)に対して、「有害化学物質リスク削減基盤技術に関する先導調査研究」(平成 15 年度委託調査)における調査委員会において検討、意見集約した結果、本事業の実施は強力に推進する必要があるとの結論を得た。

第 1 回調査委員会：平成 15 年 12 月 16 日：事前評価書(案)の開示、意見集約

第 2 回調査委員会：平成 16 年 1 月 14 日：事前評価書(案)の確認

巻末に事前評価関連資料(事業の概要、スケジュール、事前評価書、パブリックコメント募集の結果)並びに「有害化学物質リスク削減基盤技術研究開発」プロジェクト基本計画(平成20年7月、バイオテクノロジー・医療技術開発部化学物質管理技術グループ)を資料として添付した。

1.2 実施の効果（費用対効果）

【中間評価】

「有害化学物質リスク削減基盤技術研究開発」事業は、平成 16 年度 1.97 億円、平成 17 年度 4.03 億円の事業予算にて各々新規に提案公募を行った。平成 16 年度には 21 件、平成 17 年度には 8 件の応募があり、それらの中からそれぞれ 4 件、3 件を採択した。採択した研究テーマは、エンドオブパイプ技術（回収、排出抑制、無害化等により、環境への排出量の削減率 90%以上（回収率×無害化率）を達成できる新規削減技術）に関するものが 4 件、インプラント技術（削減対象物質を用いないプロセスへの新規転換技術、及び新規代替物質の開発等）に関するものが 2 件、システム・ソフト技術（効率的なリスク削減が可能となる新たな技術（システム、ソフト）の開発）に関するものが 1 件である。事業に参加中の企業、大学、財団は 11 であり、委託先一社当たり 4～7 千万円／年の規模である。

エンドオブパイプ技術、インプラント技術、システム・ソフト技術において第一に期待されるのは、有害化学物質の削減効果である。PRTR 制度の届出対象である 354 物質の中でも、今回基本計画でも対象としている 30 物質は、莫大な量が環境中に排出されており、リスクを低減するにはまず暴露量、すなわち排出量を大幅に低減する必要がある。このため本事業では、開発技術毎に、どのような化学物質をどの程度削減できるかを見積もった。当該技術を搭載した製品イメージとともに、表 I-1 有害化学物質の削減対象分野・プロセス及び削減物質、削減量【中間評価時見積量】に示す。

平成 18 年度は、二年目（3 プロジェクト）・最終年度（3 プロジェクト）・終了（1 プロジェクト）の三つのフェーズのプロジェクトが並行して進んでいる。しかも各プロジェクトの実用化方針も、1,000m³/時間程度の比較的小型の装置をターゲットとするものから、10,000m³/時間を超える中型の装置への展開も進めるものまで、ユーザーニーズに幅広く対応していくこととしており、いずれの技術も削減率 90%以上の達成を目指して（一部既に達成して）いる。

平成 16 年 5 月に改正された大気汚染防止法では、平成 18 年 4 月から VOC（揮発性有機化合物）の数値規制が施行され、排出量の多い事業所に対しては排出基準が設けられた。同時に、比較的排出量の少ない事業所に対しても、規制値は適用されないものの自主的な取組による有害化学物質の削減を推進することが要請されている。このような取組を通して、平成 22 年度には平成 12 年度（推定排出量 150 万トン）比 30%の VOC を削減（規制で 10%、自主管理で 20%）することが目標として設定されており、本事業においても、このような削減目標に寄与すべく技術開発を進めてきた。

7 つの開発技術による削減される VOC 量を総合すると、平成 22 年度（2010 年度）には約 7,000 トン、平成 27 年度（2015 年度）には約 115,000 トンの削減（直接的効果）が可能である。これに加えて、今回の NEDO プロジェクトが産業界における VOC 削減装置の開発、事業化を活発化することや、環境分野における VOC 削減技術の研究開発を活発化することなどの間接的な波及効果が、直接効果の 4-5 倍程度あると想定する（この根拠としては、①平成 16 年度、17 年度の公募への提案数が合計 29 件あり（採択件数 7 件の約 4 倍）、企業における開発意欲が高い、②「自主管理」が改正大気汚染防止法により法制化されており、本技術開発が担う小中型 VOC 削減装置のニーズが大幅に顕在化する、等を想定）。従って、間接的な削減効果（平成 22 年度で約 35,000 トンの削減）まで含めると、150 万トンの排出量のおよそ 2-3%を占めることになる。さらに、本事業は平成 18 年度にも新規公募を行い新規な VOC 削減技術を開発するため、これを考慮すれば、150 万トン排出量のおよそ 3-4%を、本事業の直接的・間接的削減効果が占めると想定される。開発技術のブラッシュアップ、小型・低価格化、事業実施者における一層の事業化努力、等により、最終的には 150 万トン排出量のおよそ 5%（自主管理部分のおよそ 4 分の 1）を目安として本事業を継続していきたい。

投入資金（予算ベース）は平成 16 年度、17 年度合計で 6.0 億円であり、平成 18 年度予算（7.49 億円）と平成 18 年度新規事業を考慮すると、平成 22 年度における VOC 削減量の費用対効果は約 4,000 トン/億円と見積もられ、十分な費用対効果が得られる。

なお、エンドオブパイプ技術は、市場導入が比較的容易であり、しかも技術を導入したその時から削減効果を発揮するため、有害化学物質・VOC の削減に関して即効性を期待している。一方、インプラント技術は、従来技術からの技術転換を必要とするため、市場導入が容易ではなく時間がかかることが予想される。このため、有害化学物質の削減効果だけでなく、機能・性能面でも従来材料、従来プロセスを凌駕することが求められる。このような点でインプラント技術の開発は困難を伴うが、このことが逆に、国内外で競争力のある製品の開発につながることを期待される。

表 I-1 有害化学物質の削減対象分野・プロセス及び削減物質、削減量

【中間評価時見積量】

研究開発テーマ	製品イメージ	分野・プロセス	削減物質	削減量(2010年) (トン/年)	削減量(2015年) (トン/年)
A-(1) 吸着エレメントとプラズマを組合わせた難処理有害化学物質除去の研究開発	<連続式プラズマ分解> 50~1200m ³ /時間 吸着困難なVOC及び 100ppm以下の汎用VOC <バッチ式プラズマ分解> 1200~12000 m ³ /時間 100ppm以下の汎用VOC	印刷 塗装 化学 医療	エチレンオキシド ホルムアルデヒド アセトアルデヒド トルエン、キシレン ベンゼン、エチルベンゼン その他VOC (MEK、IPAなど)	255	2,175
A-(2) 直接加熱式VOC吸着回収装置の研究開発	処理風量 10m ³ /分	金属加工業 で(洗浄工程)	不燃性VOC(トリクレン、パークレン、ジクロロメタン等)	120	600
	処理風量(平均) 50m ³ /分	印刷、塗装の乾燥工程、化学工業の反応溶媒除去	可燃性VOC(トルエン、キシレン等)	60	1,500
A-(3) 吸着相オゾン酸化による排出有害物質の完全分解処理	処理容量:10-100m ³ /時間、 寸法 L0.6m×W0.6m×H1.5m、 処理対象濃度~100ppm	印刷業	トルエン、キシレン	1,560	7,800
	処理容量:2m ³ /日、 寸法 L0.5m×W0.5m×H1.5m、 処理対象濃度~10mg/L	繊維工業、金属製品製造業	アセトアルデヒド、トリクロロエチレン	10	21
A-(4) マイクロバブルの圧壊による有害化学物質の高効率分解技術の開発	本プロジェクトで開発するユニットを基本型として、市場の具体的なニーズに応える処理システムを設計し、提案。単独での処理システムに加えて、活性汚泥法等の既存処理システムと組み合わせたシステムの提案も。	プラスチック加工業、金属加工業、化学工業、化学品製造業、繊維工業など	有害化学物質(フェノール、N,N-ジメチルホルムアミド、トリクロロエチレン)	900(公共用水への排出量+下水道への移動量の合計の30%+大気へ移動量の10%に相当)	3,000(2010年までの削減量に加えて、大気への排出量の20%、廃棄物への移動量の10%を処理)
B-(1) 非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発	絶縁材料	電子材料	ビスフェノール-A	20	22,000
	低VOCエポキシ塗料	インキ・接着剤	溶剤	0	16,000
B-(2) 革新的水性塗料の開発	焼付け型低VOC水性塗料	需要分野: 金属製品・機械への塗装	VOC (トルエン、キシレン、エチルベンゼンなど)	1,000	20,000
	超低VOC水性塗料	需要分野: 自動車補修・プラスチックへの塗装	同上	100	40,000
C-(1) 有害化学物質削減支援ツールの開発	ソリューションサイト型のWEBシステム	1.産業洗浄 2.塗料、塗装 3.化学品製造	トルエン、キシレン、ジクロロメタン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、クロロホルム	2,750 計算式=[6物質のPRTR(15年度)全排出量]×[対策技術の削減性能80%]×[トリガーとする削減アクションが1%]	13,750 計算式=[6物質のPRTR(15年度)全排出量]×[対策技術の削減性能80%]×[トリガーとする削減アクションが5%]

【事後評価】

ここでは、事業全体を通しての実施の効果（費用対効果）についてまとめる。また、エンドオブパイプ技術開発及びインプラント技術開発の実施の効果についても説明する。

[結論]

中間評価段階（平成 18 年度）で、本開発技術による VOC 削減量（見積値）は平成 22 年度（2010 年度）には 150 万トンの VOC 排出量のおよそ 2-3%を占め、VOC 削減量の費用対効果は約 4,000 トン/億円としていた。中間評価段階では、150 万トンの VOC 排出量のおよそ 5%削減（自主管理部分のおよそ 4分の1）を目指すとした。

事業全体を通しての実施の効果（費用対効果）は、VOC 削減量（見積値）は平成 22 年度（2010 年度）約 44,000 トン（直接的効果約 11,000 トン及び間接的効果約 33,000 トン）であり、150 万トンの VOC 排出量のおよそ 2-3%となり、VOC 削減量の費用対効果は約 2,000 トン/億円である。平成 22 年度（2010 年度）については、中間評価段階における目安：およそ 5%削減という比率には達しなかった。一方、平成 27 年度（2015 年度）の VOC 削減量（見積値）は約 440,000 トン（直接的効果）であり、中間評価段階の見積値の約 4 倍に上る。

平成 22 年度の 5%というターゲットに及ばなかった理由としては、法規制への対応という面から、初期にエンドオブパイプ技術の開発を先行させたが、多くのエンドオブパイプ技術開発は既存の競合技術を置き換えるほどのユーザーメリットを提示することや抜本的なコスト削減の提示が困難であったと考えられる。他方、平成 27 年度の VOC 削減量が中間評価段階の約 4 倍に上ると見積もられるのは、単なる分解・無害化ではなく VOC の回収を目指しユーザーメリットを提供するエンドオブパイプ技術開発、並びに、本質的な問題解決であり技術革新による競争力強化が見込めるインプラント技術開発の成果によるものと考えられる。

NEDO 技術開発機構で、本開発技術による機器・材料等の売上高並びに回収・代替される有害化学物質の換算金額を試算した。試算の結果、平成 22 年度（2010 年度）は開発技術による機器・材料等の売上高 15 億円～60 億円（含む間接的効果）並びに回収・代替される有害化学物質の換算金額 6 億円～24 億円（含む間接的効果）であり、一方、平成 27 年度（2015 年度）は開発技術による機器・材料等の売上高 1,200 億円（最大）並びに回収・代替される有害化学物質の換算金額 400 億円（最大）であった。

[平成 18 年度以降平成 20 年度までの事業の推移]

まず、平成 18 年度以降平成 20 年度までの事業予算並びに採択案件の推移を記す。事業予算及び提案公募については、平成 18 年度 7.49 億円、平成 19 年度 5.54 億円、平成 20 年度は 3.67 億円の予算で、平成 18 年度及び平成 19 年度については各々新規に提案公募を行った。平成 18 年度には 5 件、平成 19 年度には 4 件の応募があり、それらの中からそれぞれ 4 件及び 2 件を採択した。採択した研究テーマは、エンドオブパイプ技術に関するものが 3 件、インプラント技術に関するものが 3 件であった。事業に参加した企業、大学、財団は 7 であり、委託先一社当たり 2～10 千万円/年の規模であった。

[事業期間全体の事業のまとめ]

ここで平成 16 年度から平成 20 年度までの事業期間全体についてまとめると、事業予算は 22.70 億

円であった。採択した研究テーマは、エンドオブパイプ技術に関するものが7件、インプラント技術に関するものが5件、システム・ソフト技術に関するものが1件であり、計13件の開発技術を採択した。事業期間全体の公募提案数が合計38件あり、採択件数13件の約3倍に上る。事業に参加した企業、大学、財団は17であり、委託先一社当たり2～10千万円/年の規模であった。事業予算22.70億円の内訳は、エンドオブパイプ技術11.41億円、インプラント技術7.98億円、システム・ソフト技術3.31億円であった。

[実施の効果（費用対効果）まとめ、技術開発の実施の効果]

事業期間全体の13件の開発技術によって削減されるVOCの見積量を表I-2-1（エンドオブパイプ技術）及び表I-2-2（インプラント技術、システム・ソフト技術）に示す。VOC削減量は平成22年度（2010年度）には直接的効果約11,000トン（事業期間中に開発を終了した2件の削減見積量を除く）、中間評価時と同様な想定をすれば間接的効果約33,000トン、並びに、平成27年度（2015年度）の直接的効果約440,000トンと見積もられる。従って、平成22年度における本開発技術による直接的、間接的VOC削減量は、150万トンのVOC排出量のおよそ2-3%、VOC削減量の費用対効果は約2,000トン/億円となる。一方、平成27年度（2015年度）の直接的効果は中間評価段階のVOC削減量の見積値の約4倍に上る。ここで、中間評価段階での実施の効果（費用対効果）に関する想定を、現時点で検証すれば、事業期間全体での平成22年度におけるVOC削減量比率2-3%という数値は5%VOC削減という中間評価段階に立てたターゲットには及ばないが、中間評価段階と同様な比率である。5%VOC削減というターゲットに及ばなかった理由としては、事業期間の初期に、改正大気汚染防止法など法規制への対応という面から、エンドオブパイプ技術の開発を先行させたが、自主管理を目指すVOC削減に対して、多くのエンドオブパイプ技術開発は既存の競合技術を置き換えるほどのユーザーメリットを提示することや抜本的なコスト削減の提示が困難であったと考えられる。他方、事業期間全体での平成27年度（2015年度）の直接的効果は中間評価段階のVOC削減量見積値の約4倍に上ると見積もられるのは、単なる分解・無害化ではなくVOCの回収を目指しユーザーメリットを提供するエンドオブパイプ技術開発、並びに、本質的な問題解決であり技術革新による競争力強化が見込めるインプラント技術開発の成果によるものと考えられる。

VOCの削減見積量：平成22年度（2010年度）約44,000トン（直接的効果約11,000トン及び間接的効果約33,000トン）並びに平成27年度（2015年度）の約440,000トン（直接的効果）の数値を用いて、NEDO技術開発機構で、開発技術による機器・材料等の売上高並びに回収・代替される有害化学物質の換算金額を試算した。試算の結果、平成22年度（2010年度）は開発技術による機器・材料等の売上高15億円～60億円（含む間接的効果）並びに回収・代替される有害化学物質の換算金額6億円～24億円（含む間接的効果）であり、一方、平成27年度（2015年度）は開発技術による機器・材料等の売上高1,200億円（最大）並びに回収・代替される有害化学物質の換算金額400億円（最大）であった。

表 I-2-1 有害化学物質の削減対象分野・プロセス及び削減物質、削減量

【事後評価時見積量】 エンドオブパイプ技術(A)

研究開発 テーマ	製品イメージ	分野・ プロセス	削減物質	削減量(2010年) (トン/年)	削減量(2015年) (トン/年)
A-(1) 吸着エレメントとプラズマを組合わせた難処理有害化学物質除去の研究開発	[連続式プラズマ分解装置] 50~1200m ³ /時間 吸着困難なVOC及び 100ppm以下の汎用VOC [バッチ式プラズマ分解装置] 1200~12000m ³ /時間 100ppm以下の汎用VOC	印刷、塗装 化学工業 医療	ホルムアルデヒド、 アセトアルデヒド、 エチレンオキシド トルエン、キシレン、 ベンゼン、 エチルベンゼン その他削減物質 VOC(MEK、IPAなど)	0	7
A-(2) 直接加熱式VOC吸着回収装置の研究開発	[不燃性VOC吸着回収装置] 処理風量3~10m ³ /分	金属加工業(洗浄工程)	トリクロロエチレン、 テトラクロロエチレン、 ジクロロメタン	30	600
	[可燃性VOC吸着回収装置] 処理風量(平均)50m ³ /分	印刷、塗装の乾燥工程、化学工業の反応溶媒除去	トルエン、キシレン	0	1,500
A-(3) 吸着相オゾン酸化による排出有害物質の完全分解処理 【平成18年度終了】	[排ガス処理装置] 処理容量:10~100m ³ /時間、寸法 L0.6m×W0.6m×H1.5m、 処理対象濃度~100ppm	印刷、塗装	トルエン、キシレン	1,560	7,800
	[排水処理装置] 処理容量:2m ³ /日、寸法L0.5m× W0.5m×H1.5m、 処理対象濃度~10mg/L	繊維工業、金属加工業(洗浄工程)	アセトアルデヒド、 トリクロロエチレン	10	21
A-(4) マイクロバブルの圧壊による有害化学物質の高効率分解技術の開発 【平成17年度終了】	排水処理装置 排水処理システムの設計、提案。 活性汚泥法等の既存処理システムと組み合わせたシステムの提案。	プラスチック加工業 金属加工業(洗浄工程) 化学工業、繊維工業	有害化学物質 フェノール、 N,N-ジメチルホルムアミド、 トリクロロエチレン	900(公共用水への排出量+下水道への移動量の合計の30%+大気へ移動量の10%に相当)	3,000(2010年までの削減量に加えて、大気への排出量の20%、廃棄物への移動量の10%を処理)
A-(5) 大気圧・空気プラズマを利用した揮発性有機化合物(VOC)等の無害化装置の開発	排ガス処理装置 処理風量~60m ³ /時間、濃度~ 1000ppm、吸着困難なVOC	化学工業 医療 自動車排ガス	ホルムアルデヒド、 トルエン、キシレン、 ベンゼン、 エチルベンゼン	10	200
A-(6) デュアルメンブレンシステムによるガソリンペーパー回収装置の開発	ガソリンペーパー液化回収装置 ガソリンスタンドでの給油時に発生するガソリンペーパーを液化して回収する。処理量:90L/分	ガソリンスタンド	トルエン、キシレン、 ベンゼン、 エチルベンゼン、 その他削減物質 その他炭化水素	0	39,420
A-(7) 含塩素VOC高効率分解固定化装置の研究開発	含塩素VOC分解回収装置 処理量ジクロロメタン 8~30トン/年 濃度1,000ppm以下	金属加工業(洗浄工程)	トリクロロエチレン、 テトラクロロエチレン、 ジクロロメタン	0	100
エンドオブパイプ(A) 削減量総計				2,510	52,648
エンドオブパイプ(A) 削減量総計(終了案件除く)				40	41,827

表 I-2-2 有害化学物質の削減対象分野・プロセス及び削減物質、削減量

【事後評価時見積量】インプラント技術(B)、システム・ソフト技術(C)

研究開発テーマ	製品イメージ	分野・プロセス	削減物質	削減量(2010年) (トン/年)	削減量(2015年) (トン/年)
B-(1) 非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発	絶縁材料 積層板、半導体封止剤	電子材料	ビスフェノール-A、ホルムアルデヒド	20	22,000
	低VOCエポキシ塗料	インキ・接着剤	溶剤	0	16,000
B-(2) 革新的水性塗料の開発	焼付け型低VOC水性塗料	塗装、金属製品・機械への塗装	トルエン、キシレン、エチルベンゼン	1,000	20,000
	超低VOC水性塗料	自動車補修・プラスチックへの塗装	同上	100	40,000
B-(3) 溶剤フリー塗装技術の研究開発	防食被覆膜 小型家電マグネシウムスピーカー	塗装、金属製品への塗装	トルエン、キシレン その他削減物質 エチレングリコール	10	100
	防食被覆膜 PC筐体等	同上	トルエン、キシレン その他削減物質 エチレングリコール	0	2,300
B-(4) 有害廃棄物フリー高効率エステル合成プロセスの開発	マイクロ波加熱を用いたエステル製造プロセス ハロゲン化酢酸エステル類(医薬・農業中間体) アミノ酸エステル類(医薬・太陽電池用色素中間体)	化学工業、化学品製造プロセス	トルエン、キシレン、四塩化炭素、ベンゼン その他削減物質 DCC(ジシクロヘキシルカルボジイミド)、塩化チオニル、五塩化リン、濃硫酸、p-トルエンスルホン酸	0	140,000
B-(5) 革新的塗装装置の開発	二酸化炭素塗装 低VOCスプレー塗装	塗装、樹脂製品・金属製品への塗装	トルエン、キシレン、エチルベンゼン	0.2	2,600
C-(1) 有害化学物質削減支援ツールの開発	ソリューションサイト型のWEBシステム	塗装、洗浄、印刷、接着を伴う製造業及びその他右記6物質を取り扱うプロセスを有する産業分野	トルエン、キシレン、ジクロロメタン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、クロロホルムの6物質及び塗装・印刷業務で使用する全VOC	9,580	155,000
				計算式=[対象4業務のH18年度排出量]×[対策技術の削減性能]×[ツールがトリガーとなって対策を実施する率]	計算式=[対象4業務のH18年度排出量]×[対策技術の削減性能]×[ツールがトリガーとなって対策を実施する率]
インプラント技術(B) 削減量総計				1,200	243,000
システム・ソフト技術(C) 削減量総計				9,580	155,000
エンドオブパイプ(A)・インプラント技術(B) 削減量総計				3,710	295,648
エンドオブパイプ(A)・インプラント技術(B) 削減量総計(終了案件除く)				1,240	284,827
エンドオブパイプ(A)・インプラント技術(B)・システム・ソフト技術(C) 削減量総計(終了案件除く)				10,820	439,827

2. 事業の背景・目的・位置づけ

ヒト健康や生態系に対してリスクが懸念される化学物質は、我々の身の回りにある製品には必ず含まれており、広く利用される一方で、大量に廃棄されており、化学物質の製造、利用、廃棄段階などのライフサイクルに亘る適切な管理が潮流となってきた。平成13年4月より「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律」に基づくPRTR制度(環境汚染物質排出移動登録)の導入、平成15年6月の化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律(化審法)の改正などにより、化学物質の製造、利用、廃棄段階などのライフサイクルに亘る適切な管理が求められている。一旦、環境中に排出された化学物質を回収、無害化するためには莫大なコストが掛かってしまい、あるいは、技術的な対応策が無い等の理由により事業者による自主管理が滞るケースもあり、産業界が単独で対応することは非常に難しい状況にある。このため、環境中に排出され、人の健康や生態系に影響を及ぼすことが懸念される化学物質のリスクを削減することが求められている。また、従来から事業者によって進められてきた自主的な化学物質管理を一層促進するため、リスクが懸念される化学物質を、中小企業を含む事業所等が自主的に回収、無害化処理できる新しい技術を国が主体となって開発し、早期の導入・普及を促進することにより有害化学物質の速やかな削減を図りながら、事業者の自主管理の促進を支援することにより、環境と調和した健全な経済産業活動と安全、安心な国民生活に資することが必要である。

平成16年5月に改正された大気汚染防止法では、平成18年4月からVOC(揮発性有機化合物)の数値規制が施行された。VOCは大気中で光化学反応、物理反応等の複雑な反応経路を経て、光化学オキシダントや浮遊粒子状物質(SPM)二次粒子の生成に寄与しているとされ、VOC排出規制の目的は浮遊粒子状物質(SPM)の環境基準達成率の改善、並びに、光化学オキシダントの注意報発令件数を改善することである。VOC排出量の多い事業所に対しては排出基準が設けられた。同時に、比較的排出量の少ない事業所に対しても、規制値は適用されないものの自主的な取組による有害化学物質の削減を推進することが要請されている。このような取組を通して、平成22年度(2010年度)には平成12年度(推定排出量150万トン)比30%のVOCを削減(規制で10%、自主管理で20%)することが目標として設定された。本開発においても、この削減目標に寄与すべく技術開発を進めてきた。

有害化学物質リスク削減基盤技術の開発は、社会的必要性が大きな国家的課題であり、事業者の自主的な化学物質管理を促進して、環境と調和した健全な経済産業活動と安全、安心な国民生活に資するものである。

本研究開発では、PRTR対象化学物質のリスク削減に資するインプラント対策^{注1)}やエンドオブパイプ対策^{注2)}を中心とした回収、無害化、代替物質生産技術、代替プロセス等に関する研究開発課題に対する対策技術を民間企業等から公募し、抜本的なリスク削減に資する実用化基盤技術を開発する。本研究開発はリスクが懸念されるPRTR対象化学物質のリスク削減を図るための技術開発であり、「環境安心イノベーションプログラム」^{注3)}におけるリスク削減技術の一環として実施された。

巻末に環境安心イノベーションプログラム基本計画(平成20年4月1日、平成20・03・25産局第7号)並びに「有害化学物質リスク削減基盤技術研究開発」プロジェクト基本計画(平成20年7月、バイオテクノロジー・医療技術開発部化学物質管理技術グループ)を資料として添付した。

注1)製造、使用段階において、リスクの少ない化学物質への代替、反応工程中における副生成物、有害化学物質の発生を抑制するプロセスへ転換する技術

注2)製造プロセス等で使用、生成した有害化学物質等を煙突や排水という最後の段階で回収、無害

化等する技術

注3) 平成20年4月1日付け、環境安心イノベーションプログラム基本計画制定。平成16年度から平成19年度の間は化学物質総合評価管理プログラムに基づき実施

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

人の健康や生態系への影響などが懸念される PRTR 対象化学物質について削減順位付けを行い、これらの化学物質のリスク削減に資する回収、無害化、代替物質生産技術、代替プロセス等以下の研究開発課題に関する実用化基盤技術を平成 20 年までに確立することを目標とする。

【研究開発課題】

- ① インプラント技術：削減対象物質を用いないプロセスへの新規転換技術、及び新規代替物質の開発等
- ② エンドオブパイプ技術：回収、排出抑制、無害化等により、環境への排出量の削減率 90%以上(回収率×無害化率)を達成できる新規削減技術
- ③ その他：効率的なリスク削減が可能となる新たな技術(システム、ソフト)の開発

本研究開発では、工場等から大気、河川等に排出される削減対象物質に関するインプラント技術、エンドオブパイプ技術等について研究開発テーマ毎に削減率、汎用性、低コスト等の開発目標を設けて行った。

巻末に「有害化学物質リスク削減基盤技術研究開発」プロジェクト基本計画（平成20年7月、バイオテクノロジー・医療技術開発部化学物質管理技術グループ）、技術戦略マップ（技術戦略マップ 2008、技術戦略マップ2009）を資料として添付した。

表 II-1 リスク削減技術に関する対象分野と求められる技術開発

分類	産業分野		内容	対象分野	技術分類	具体的テーマ	
短期 ↓ リスク削減効果 ↓ 長期	E O P	化学工業、 輸送機械、 電器機械、 印刷、金属 製品等の製 造業等	事後 対策	煙突、排水等の 最終段階で有害 物質を無害化、 回収する技術	・塗装工程 ・金属加工 ・プラスチック加工 ・ガソリスタント ・洗濯業	・無害化 ・回収 ・リサイクル	・プラズマ分解 ・マイクロ波分解/回収 ・排水オゾン酸化 ・触媒燃焼
				未 然 防 止	製造される製品 の中に有害物質 が含まれない材 料技術	・インキ/顔料 ・塗料 ・接着剤 ・洗浄剤 ・電気電子 部品用材料	・代替物質 ・有害物質の 含有量削減
	化学工業等	プロセスイノベ ーション 及び マテリアルイノ ベーション	・化学プロセス		・溶媒転換 ・シンプル化 ・原材料転換	・無溶媒反応 ・クリーン溶媒 ・触媒反応化(触媒反応 への転換) ・高機能・高性能触媒 ・マイクロ波合成 ・リサイクル材 ・生体模倣反応	

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

本研究開発では、国から公表されている PRTR 制度の集計結果を活用し、生産量、取扱量、排出量、

移動量が多い物質、国民の不安、関心が高い物質等から優先的に排出抑制に取り組む。一方、技術開発の対象となる化学物質が多い点、また、研究開発費が限られていることに鑑みて、研究機関、企業等から公募により提案された対策技術の中で、抜本的なリスク削減効果が期待できる優れた技術を優先的に実施する。具体的な削減対象物質は、1) 排出量が多い、2) リスクが高い又は大きいことが疑われる、3) 環境規制の動向、等を踏まえて、当面、PRTR 集計結果及び EPA(米国 環境保護庁)のリスク評価手法による概括的なリスク評価の結果に従って、削減対象物質の順位付けを行い、これらの評価結果に基づき (1) PRTR 制度による国への届出対象物質(点源)から上位 20 物質、(2) PRTR 制度により国が推計した対象物質(非点源)から 上位 10 物質(但し、(1)の重複物質を除く)とした。また、本研究開発では、工場等から大気、河川等に排出される削減対象物質に関するインプラント技術、エンドオブパイプ技術等について研究開発テーマ毎に削減率、汎用性、低コスト等の開発目標を設けて行うこととする。

【本研究開発において対象とする化学物質】

本研究開発における優先的に取り組む削減対象物質は(a)PRTR 制度による国への届出対象物質(点源)から上位 20 物質、(b) PRTR 制度により国が推計した対象物質(非点源)から上位 10 物質(但し、(a)の重複物質を除く)とする。具体的な化学物質は下記のとおり。

(a)PRTR 制度による国への届出対象物質 (工場等の固定発生源) :

- 1) トルエン 2) ベンゼン 3) フェノール 4) キシレン 5) 1,2-ジクロロエタン
- 6) フタル酸ビス(2-エチルヘキシル) 7) エチルベンゼン 8) アニリン 9) 塩化ビニル
- 10) 塩化メチレン 11) クロロホルム 12) スチレン 13) 有機スズ化合物 14) トリクロロエチレン
- 15) テトラクロロエチレン 16) ニトロベンゼン 17) N,N-ジメチルホルムアミド
- 18) アクリロニトリル 19) エチレンオキシド 20) 四塩化炭素

(b)PRTR 制度により国が推計した対象物質 (移動体、家庭等からの排出) :

- 1) フタル酸ジ-n-ブチル 2) p-ジクロロベンゼン 3) リン酸トリ-n-ブチル 4) 2-アミノエタノール
- 5) ホルムアルデヒド 6) リン酸トリス(2-クロロエチル) 7) 臭化メチル
- 8) 直鎖アルキルベンゼンスルホン酸及びその塩 9) ビスフェノールA 10) アセトアルデヒド

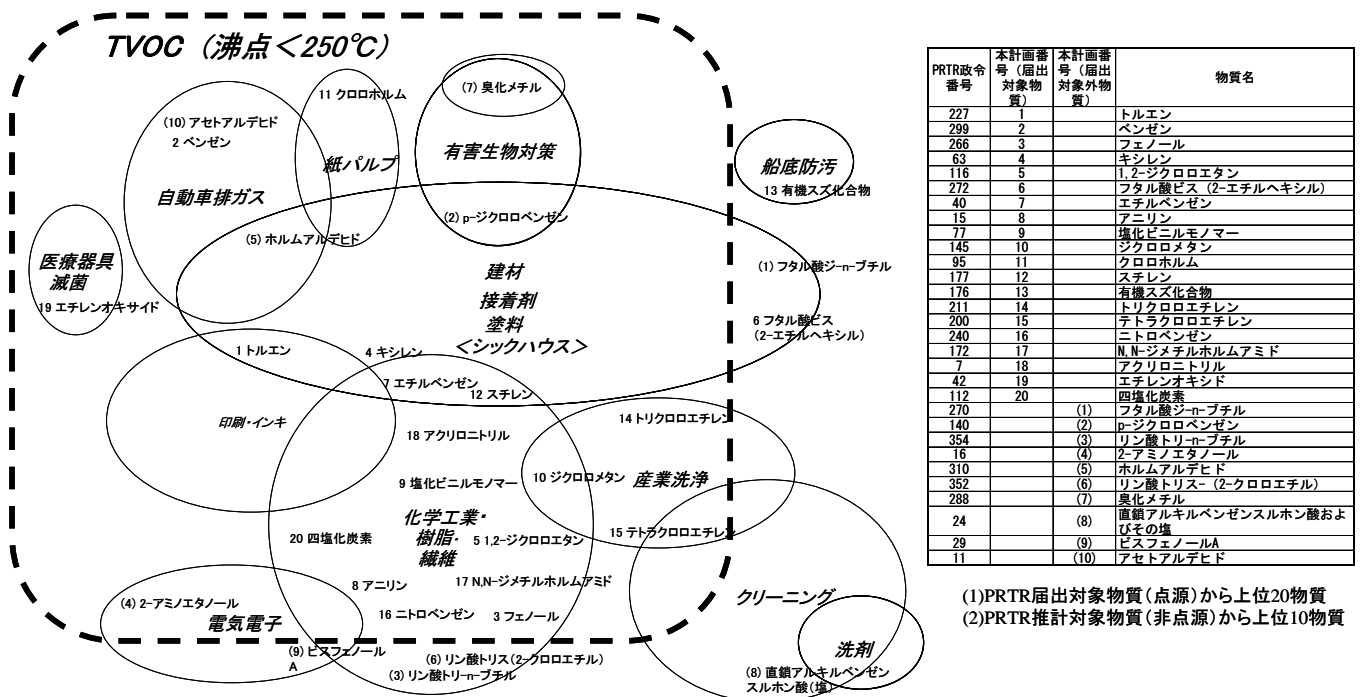


図 II-1 本事業で取り組む削減対象物質 30 物質と主な排出源(業種)

表Ⅱ-2 研究開発テーマと目標とする VOC 排出源（業種）

区分	研究開発テーマ	削減物質	主要なVOC排出源				
			印刷塗装	化学工業 ゴム製品 電子材料 接着剤 繊維工業	金属加工業 (洗浄)	ガソリンスタンド 給油所 製油所 油槽所	その他
エンドオブパイプ技術 (EP)	A- (1) 吸着エレメントとプラズマを組合わせた難処理有害化学物質除去	エチレンオキシド ホルムアルデヒド アセトアルデヒド トルエン キシレン ベンゼン エチルベンゼン	○	○	—	—	医療
	A- (2) 直接加熱式VOC吸着回収装置の研究開発	トリクロロエチレン テトラクロロエチレン ジクロロメタン	—	—	○	—	
		トルエン キシレン	○	○	—	—	
	A- (3) 吸着相オゾン酸化による排出有害物質の完全分解処理	トルエン キシレン	○	○	—	—	
		アセトアルデヒド トリクロロエチレン	—	○	○	—	
	A- (4) マイクロバブルの圧壊による有害化学物質の高効率分解技術の開発	フェノール N,N-ジメチルホルムアミド トリクロロエチレン	—	○	○	—	プラスチック加工
	A- (5) 大気圧・空気プラズマを利用した揮発性有機化合物 (VOC) 等の無害化装置の開発	ホルムアルデヒド トルエン キシレン ベンゼン エチルベンゼン	○	○	—	—	医療 自動車 排ガス
A- (6) デュアルメンブレンシステムによるガソリンペーパー回収装置の開発	トルエン キシレン ベンゼン エチルベンゼン その他炭化水素	—	—	—	○	—	
A- (7) 含塩素VOC高効率分解固定化装置の研究開発	トリクロロエチレン テトラクロロエチレン ジクロロメタン	—	○	○	—	—	
インプラント技術 (IP)	B- (1) 非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発	ビスフェノール-A ホルムアルデヒド トルエン、キシレン	—	○	—	—	—
	B- (2) 革新的水性塗料の開発	トルエン キシレン エチルベンゼン	○	—	—	—	—
	B- (3) 溶剤フリー塗装技術の研究開発	トルエン キシレン	○	—	—	—	—
	B- (4) 有害廃棄物フリー高効率エステル合成プロセスの開発	トルエン キシレン 四塩化炭素 ベンゼン	—	○	—	—	—
	B- (5) 革新的塗装装置の開発	トルエン キシレン エチルベンゼン	○	—	—	—	—
システムソフト技術	C- (1) 有害化学物質削減支援ツールの開発	トルエン、キシレン、 ジクロロメタン、 トリクロロエチレン、 テトラクロロエチレン、 クロロホルム	○	○	○	—	—

2.2 研究開発の実施体制

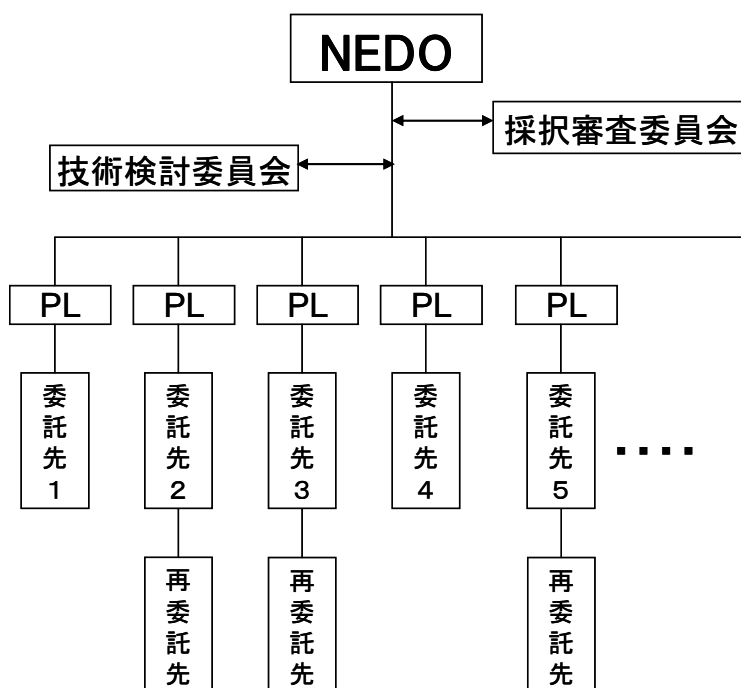
本研究開発は、NEDO が公募によって選定する企業、民間研究機関、独立行政法人、大学等に委託することにより実施する方式を採用した。

2.3 研究開発の運営管理

事業全体に係わるマネジメントは、外部識者の意見を取り入れながら NEDO が主体的に行った。

本研究開発では、事業最終年度を除く毎年、新規テーマの公募を実施して、外部有識者による採択審査委員会において技術面、事業面からの審査を実施して、最新動向を考慮しながら優れた研究開発テーマを採択した。また、NEDO では、研究開発テーマ毎にプロジェクトリーダー（PL）を指名し、研究開発の責任の所在を明確にして、委託先機関とともに共同で研究を推進した。中間評価以降は、主として企業（＝開発成果の実用化・実施者）の開発責任者をプロジェクトリーダー（PL）として指名した。また、研究開発に関する目標の設定に関しては、実用化、波及効果、経済性を考慮して、革新的な研究開発に繋がるレベルに設定した。これらの高い目標を達成するために、プロジェクトリーダー、委託先機関等からのヒアリングや、毎年2回程度の有識者からなる技術検討会（委員長：製品評価技術基盤機構 理事長 東京大学名誉教授 御園生誠）において、ターゲット市場、既存技術との比較検討、トータルコスト低減を重視した実用化への取組み、リスク削減の定量化、開発目標に対する成果状況、実用化までに必要な課題やマイルストーンの設定、特許戦略などの事項に関して報告を受けるほか、技術的・実用化・事業化に関するアドバイス等を行った。また、委託先の研究の進捗に応じて、研究実施場所等における現地委員会を適宜開催して、自主点検を促すと共に、技術検討会委員を招き技術検討及び事業検討の充実を図った。更に、最新の技術情報を収集するために調査研究等を行いながら、国内外の新たなニーズ、シーズを収集した。これらの情報を活用して、新規テーマ探索や次年度の業務委託の可否、実施内容・体制、テーマ間の連携、研究目標、予算規模、所用の見直し等、プロジェクトマネジメント（自主点検等）に反映させた。

図Ⅱ-2 研究体制

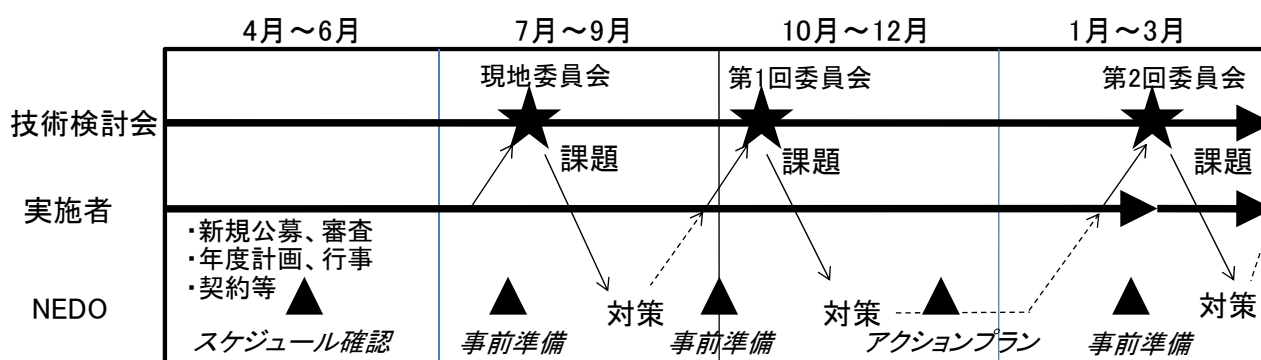


表Ⅱ-3 採択審査委員会、技術検討委員会委員

区分	氏名	所属・役職
委員長	御園生 誠	(独) 製品評価技術基盤機構 理事長
委員	指宿 堯嗣	(社) 産業環境管理協会 常務理事
委員	陶 昇	東京電力(株) 理事
委員	中杉 修身	上智大学 大学院地球環境学研究科 教授
委員	沼口 徹	日本ポール(株) 筑波事業場 バイスプレジデント 事業場長
委員	野尻 直弘	元 三菱化学(株) 理事
委員	吉田 邦夫	東京大学 名誉教授

図Ⅱ-3 研究開発の運営管理～本プロジェクトにおける年間スケジュール・NEDOのマネジメント

本プロジェクトの年間スケジュール:



本プロジェクトにおけるNEDOのマネジメント

アクション	具体的な例
①シーズ及びニーズ発掘	・業界ヒアリング ・推進委員からニーズ企業への橋渡し ・関連調査の実施
②プロジェクト管理	・研究計画(全体、年度)の策定 ・技術検討会の宿題対応 ・実用化シナリオ(出来上がりイメージ) ・ビジネスとしてのシナリオ作成 ・プロジェクト内連携への橋渡し(特に、塗装等) ・データ解析、プレゼンテーション等に関する指導 ・スケジュール管理等
③シンポジウム等開催	・エコケミカルシンポの開催 ・業界向けセミナーの開催(自動車、部品、官公庁等)
④新聞、雑誌等での宣伝	・新聞、雑誌等への紹介 ・パンフレット(技術編、ビジネス編)の作成

表Ⅱ-4 委託先、再委託先等、研究開発テーマ、プロジェクトリーダー、開発期間

区分	削減分野	研究開発テーマ 委託先	プロジェクトリーダー	開発期間
エンドオブパイプ技術 (EP)	印刷、塗装、化学、医療	吸着エレメントとプラズマを組合わせた難処理有害化学物質除去の研究開発 (株) 西谷技研	(株) 西谷技研 取締役 岡野浩志	H16-H17 H18 継続研究
	金属加工業(洗浄)	直接加熱式 VOC 吸着回収装置の研究開発 エンバイロメント・テクノロジー・ベンチャーズ (株) -再委託: 東京大学、信州大学 (H18) (独) 産業技術総合研究所 -再委託: 国士舘大学、信州大学 (H17)	ダイキン工業 (株) 常務執行役員 井原青彦	H17-H19 H20 継続研究
	印刷業、繊維工業、金属加工業	吸着相オゾン酸化による排出有害物質の完全分解処理 (有) 産業創造研究所 東洋インキエンジニアリング (株) (H17迄) 岩尾磁器工業 (株) (H17迄)	東京大学生産技術研究所 教授 迫田章義	H16-H18
	プラスチック加工業、金属加工業、化学工業、繊維工業	マイクロバブルの圧壊による有害化学物質の高効率分解技術の開発 (株) REO研究所 (独) 産業技術総合研究所	(社) 産業環境管理協会 常務理事 指宿亮嗣	H16-H17
	化学、医療、自動車排ガス処理	大気圧・空気プラズマを利用した揮発性有機化合物 (VOC) 等の無害化装置の開発 イマジニアリング (株) -共同実施先: 名古屋大学 (H18)	(株) 島津製作所 前理事 高木誠	H18-H20
	ガソリンスタンド	デュアルメンブレンシステムによるガソリンペーパー回収装置の開発 (株) タツノ・メカトロニクス (独) 産業技術総合研究所	(株) タツノ・メカトロニクス 常務取締役 本橋俊明	H18-H20 H21-H22 継続研究
	精密機械 (洗浄) 等	含塩素 VOC 高効率分解固定化装置の研究開発 JFE ソルデック (株) -共同実施先: (LLP) E&E Navi、再委託: 宇都宮大学	JFE ソルデック (株) 社長 久松喜彦	H18-H20
	インプラント技術 (IP)	電子材料、インキ・接着剤	非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発 昭和電工 (株) (独) 産業技術総合研究所	(独) 産業技術総合研究所 環境化学技術研究部門 部門長 島田広道
塗装業 金属製品・機械、自動車補修、プラスチック		革新的水性塗料の開発 日本ペイント (株) -再委託: 山口東京理科大学	山口東京理科大学 教授 戸嶋直樹	H17-H19 H20 継続研究
塗装業 金属製品		溶剤フリー塗装技術の研究開発 シルバー精工 (株) (旧社名: (株) 創研) -再委託: 日本金属 (株)、静岡大学	日本金属 (株) 常務取締役 山崎一正	H18-H20 H21-H22 継続研究
化学製造プロセス		有害廃棄物フリー高効率エステル合成プロセスの開発 (株) ケミクレア -再委託: 岐阜大学 (独) 産業技術総合研究所	(株) ケミクレア 取締役研究所長 三浦肇俊	H19-H20 H21-H22 継続研究
塗装業 金属製品、機械、自動車、プラスチック		革新的塗装装置の開発 加美電子工業 (株) -再委託: 宮城県産業技術総合センター、 オリジン電気 (株) (H20)、 アトミクス (株) (H20)、 三菱レイヨン (株) (H20) (独) 産業技術総合研究所	加美電子工業 (株) 代表取締役 早坂裕	H19-H20 H21-H22 継続研究
システム・ソフト技術	塗装、印刷、接着、洗浄 有害化学物質削減支援ツールの開発 (株) 三菱化学テクノロジーサーチ (旧社名: ダイヤリサーチマーテック (株)) -再委託: みずほ情報総研 (株) (H18-) (株) 三菱総合研究所 -再委託: (独) 産業技術総合研究所 (H18-) (独) 産業技術総合研究所 (H17 迄)	東京大学生産技術研究所長 教授 前田正史	H17-H20	

図Ⅱ-4 事業の計画内容

総予算 2,270 百万円

H18 中間評価

H21 事後評価

区分	研究開発テーマ 委託先 予算	H16fy	H17fy	H18fy	H19fy	H20fy	
エンド オブパ イプ技 術 (EP)	吸着エレメントとプラズマを組合わせた 難処理有害化学物質除去の研究開発 (株) 西硝技研 80 百万	40 百万	40 百万	継続研究	自主研究		
	直接加熱式 VOC 吸着回収装置の研究開発 エンバイロメント・テクノロジー・ベンチャー ズ (株) (独) 産業技術総合研究所 209 百万		62 百万	86 百万	61 百万	継続研究	
	吸着相オゾン酸化による排出有害物質の 完全分解処理 (財) 産業創造研究所 東洋インキエンジニアリング (株) (H17迄) 岩尾磁器工業 (株) (H17迄) 175 百万	68 百万	72 百万	35 百万			
	マイクロバブルの圧壊による有害化学物 質の高効率分解技術の開発 (株) REO研究所 (独) 産業技術総合研究所 99 百万	49 百万	50 百万				
	大気圧・空気プラズマを利用した揮発性 有機化合物 (VOC) 等の無害化装置の開発 イマジニアリング (株) 212 百万			100 百万	59 百万	53 百万	
	デュアルメンブレンシステムによるガソ リンベーパー回収装置の開発 (株) タツノ・メカトロニクス (独) 産業技術総合研究所 182 百万		H21-22 継続研究 予定	80 百万	57 百万	45 百万	
	含塩素 VOC 高効率分解固定化装置の研究 開発 JFE ソルデック (株) 184 百万			77 百万	59 百万	47 百万	
	インプ ラント 技術 (IP)	非フェノール系樹脂原料を用いたレジス ト材料の開発 昭和電工 (株) (独) 産業技術総合研究所 187 百万	40 百万	57 百万	90 百万	継続研究	
		革新的水性塗料の開発 日本ペイント (株) 216 百万		67 百万	82 百万	65 百万	継続研究
		溶剤フリー塗装技術の研究開発 シルバー精工 (株) (旧社名：(株)創研) 181 百万		H21-22 継続研究 予定	100 百万	58 百万	23 百万
		有害廃棄物フリー高効率エステル合成プ ロセスの開発 (株) ケミクレア (独) 産業技術総合研究所 101 百万			H21-22 継続研究 予定	51 百万	50 百万
		革新的塗装装置の開発 加美電子工業 (株) (独) 産業技術総合研究所 113 百万			H21-22 継続研究 予定	52 百万	61 百万
システ ム・ソ フト技 術		有害化学物質削減支援ツールの開発 (株) 三菱化学テクノリサーチ(旧社名：ダイヤ リサーチマーテック (株)) (株) 三菱総合研究所 331 百万 (独) 産業技術総合研究所 (H17 迄)	H21-22 自主研究 予定	54 百万	99 百万	90 百万	88 百万

表Ⅱ-5-1 研究開発テーマ毎の研究開発内容

エンドオブパイプ技術(A)

研究開発テーマ	製品イメージ	分野・プロセス	削減物質	研究開発内容	目標
A-(1) 吸着エレメントとプラズマを組合わせた難処理有害化学物質除去の研究開発	[連続式プラズマ分解装置] 50~1200m ³ /時間 吸着困難なVOC及び100ppm以下の汎用VOC [バッチ式プラズマ分解装置] 1200~12000m ³ /時間 100ppm以下の汎用VOC	印刷、塗装 化学工業 医療	ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、エチレンオキシド、トルエン、キシレン、ベンゼン、エチルベンゼン	吸着剤を担持したハニカム吸着エレメントでVOCを吸着濃縮し、プラズマで分解無害化する装置の開発。	[分解率] 連続式プラズマ分解・バッチ式プラズマ分解 VOC50ppmにて分解率90%以上、風量100m ³ /時間 [プロセス開発、装置開発] 装置試設計 電源および電極の耐久試験1年
A-(2) 直接加熱式VOC吸着回収装置の研究開発	[不燃性VOC吸着回収装置] 処理風量3~10m ³ /分	金属加工業 (洗浄工程)	トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ジクロロメタン	VOC吸着回収における溶剤加熱脱離工程を、スチームを用いずに電磁場のエネルギーを用いて行う、小型、低コスト、高効率な装置の開発とモニタリング技術の開発。	[回収率] VOC回収率 90%以上 ※不燃性VOC:3~10m ³ /分VOC吸着回収装置 ※可燃性VOC:1m ³ /分、実用可能性確認 [不燃性VOC吸着回収装置試設計] 回収溶剤再利用 [回収装置支援ソフト開発] リアルタイムモニタリングによる運転管理と溶剤管理ソフト
	[可燃性VOC吸着回収装置] 処理風量(平均)50m ³ /分	印刷、塗装の乾燥工程、化学工業の反応溶媒除去	トルエン、キシレン		
A-(3) 吸着相オゾン酸化による排出有害物質の完全分解処理 【平成18年度終了】	[排ガス処理装置] 処理容量:10~100m ³ /時間、寸法L0.6m×W0.6m×H1.5m、 処理対象濃度~100ppm	印刷、塗装	トルエン、キシレン	VOCとオゾンシリカ系吸着剤に吸着・高度に濃縮して、酸化反応によりVOCを分解する、小型、高性能な分解処理装置の開発。	[分解率] VOC分解率 90%以上 ※排ガス処理装置 10~100m ³ /時間 ※排水処理装置 2m ³ /日 [プロセス開発、装置開発] 装置試設計
	[排水処理装置] 処理容量:2m ³ /日、寸法L0.5m×W0.5m×H1.5m、 処理対象濃度~10mg/L	繊維工業、金属加工業 (洗浄工程)	アセトアルデヒド、トリクロロエチレン		
A-(4) マイクロバブルの圧壊による有害化学物質の高効率分解技術の開発 【平成17年度終了】	排水処理装置 排水処理システムの設計、提案。活性汚泥法等の既存処理システムと組み合わせたシステムの提案。	プラスチック加工業 金属加工業 (洗浄工程) 化学工業、繊維工業	有害化学物質フェノール、N,N-ジメチルホルムアミド、トリクロロエチレン	マイクロバブル圧壊により発生するOHラジカル等による有害物質分解の高効率化検討、高性能で実用的な排水処理技術の開発。	[高濃度マイクロバブル発生装置] マイクロバブルの発生効率:濃度1000個/mL以上 [分解率] 有害化学物質分解率 90%以上 フェノール(300ppm)、N,N-ジメチルホルムアミド(300ppm)またはトリクロロエチレン(100ppm) 排水流量0.6m ³ /時間
A-(5) 大気圧・空気プラズマを利用した揮発性有機化合物(VOC)等の無害化装置の開発	排ガス処理装置 処理風量~60m ³ /時間、濃度~1000ppm、吸着困難なVOC	化学工業 医療 自動車排ガス	ホルムアルデヒド、トルエン、キシレン、ベンゼン、エチルベンゼン	大気圧・空気プラズマ発生システムによるVOC分解試験、VOCを高速に分解する小型・安価な大風量処理装置の開発。	[安定発生技術] マイクロ波と点火源による大気圧・空気プラズマ [分解特性] 分解試験:50~60%@200ppm以下 [大風量化装置開発] 1500~3000m ³ /時間
A-(6) デュアルメンブレンシステムによるガソリンペーパー回収装置の開発	ガソリンペーパー液化回収装置 ガソリンスタンドでの給油時に発生するガソリンペーパーを液化して回収する。処理量:90L/分	ガソリンスタンド	トルエン、キシレン、ベンゼン、エチルベンゼン、その他炭化水素	脱水膜、VOC膜の組み合わせによる水分フリーのガソリンペーパー回収装置の開発。	[脱水膜] 露点温度-30℃ ゼオライト膜より高性能な炭素膜開発 [VOC膜] 回収率95%(1回通過操作時) [プロセス開発、装置開発][装置全体回収率] ガソリン回収率99%以上(循環操作時) 耐久時間実ガソリンスタンド1年分(給油量850キロリットル) 装置試設計
A-(7) 含塩素VOC高効率分解固定化装置の研究開発	含塩素VOC分解回収装置 処理量ジクロロメタン 8~30トン/年 濃度1,000ppm以下	金属加工業 (洗浄工程)	トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ジクロロメタン	含塩素VOCを分解し、塩素を固定化する分解固定化剤の開発、VOC無害化プロセスの開発、並びに、分解固定化装置の開発。	[分解固定化剤の開発] VOC分解率99.9%以上 固定化剤転化率70% 固着無し 安価な分解固定化剤 [プロセス開発、装置開発] プロセスの実証 ジクロロメタン分解固定化装置試設計 処理済み固定化剤の利用

表Ⅱ-5-2 研究開発テーマ毎の研究開発内容

インプラント技術(B)、システム・ソフト技術(C)

研究開発テーマ	製品イメージ	分野・プロセス	削減物質	研究開発内容	目標
B-(1) 非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発	絶縁材料	電子材料	ビスフェノールA、ホルムアルデヒド	非フェノール系樹脂原料を過酸化水素を用いて選択的にエポキシ化する手法を用い、PRTR削減対象物質を用いずに、電気・電子材料に好適に用いられるレジスト材料等の新規製造法の開発。	プロセス開発によるPRTR対象物質削減。含ハロゲン廃棄物削減。 [プロセス開発] ・基質転化率 50%以上 ・モノエポキシ化選択率 90%以上 ・過酸化水素効率 80%以上 [レジスト性能] 塩素系化合物を含まない電気絶縁性に優れ、信頼度の高い電気・電子材料。 ユーザー仕様による評価合格。 ・絶縁性能: HHBT試験後 $10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上 ・ハンダ耐熱性: $260^\circ\text{C} \times 10\text{秒}$, 2回以上 ・可撓性: 180° 折り曲げ試験合格 ・安全性試験
B-(2) 革新的水性塗料の開発	焼付け型低VOC水性塗料	塗装、金属製品・機械への塗装	トルエン、キシレン、エチルベンゼン	VOC含有量を著しく低減して、塗料成分以外は水で構成される水性塗料の開発。	塗装時のVOC排出量が5%以下 溶剤型塗料と同様に予備乾燥工程が不要 溶剤型塗料と同等のコスト、品質、塗装作業性などの製品レベル確保 ユーザー評価合格 塗膜厚 $50 \mu\text{m}$ 以上、タレ、ワキ不良無し、塗膜平滑性Ra0.3未満
B-(3) 溶剤フリー塗装技術の研究開発	防食被覆膜 小型家電マグネシウムスピーカー、PC筐体等	塗装、金属製品への塗装	トルエン、キシレン	蒸着重合法を用いて合成したポリ尿素によって、マグネシウム合金等の金属製品を防食膜で被覆する塗装代替技術の開発。	塗装におけるVOCの排出全廃 防食性能の優れたモノマー構成、膜厚決定 4日間の塩水噴霧試験、熱サイクル試験20回 膜析出速度 $0.2 \mu\text{m}/\text{分}$ 以上、膜厚分布 $\pm 10\%$ 以内 実証機、スピーカーコーンによる連続運転にてユーザー評価合格
B-(4) 有害廃棄物フリー高効率エステル合成プロセスの開発	マイクロ波加熱を用いたエステル製造プロセス ハロゲン化酢酸エステル類(医薬・農業中間体) アミノ酸エステル類(医薬・太陽電池用色素中間体)	化学工業、化学品製造プロセス	トルエン、キシレン、四塩化炭素、ベンゼン	エステル合成プロセスにおける副成廃棄物や製造に使用する有害薬品を削減しうる、マイクロ波加熱方式によるエステル合成プロセスの開発。	年産数トンレベルのモデルプラント実証試験 6時間以内に80%以上の合成収率、副成廃棄物等削減Eファクター5以下 マイクロ波応答特性測定によるプロセス安全性指針、装置設計指針取得 マイクロ波によるエステル合成に適した触媒とアミノ酸エステル合成用不斉保持型触媒の開発
B-(5) 革新的塗装装置の開発	二酸化炭素塗装 低VOCスプレー塗装	塗装、樹脂製品・金属製品への塗装	トルエン、キシレン、エチルベンゼン	高い塗装仕上げ品質を有する有機溶剤系塗料の希釈剤を二酸化炭素で代替して、VOC排出量を抑制する二酸化炭素塗装の実証、塗装装置及び塗料の開発。	VOC排出量を2/3削減、CO ₂ 使用量を塗料の1/3以下 有機溶剤系塗料用スプレー装置部分を置き換え可能な二酸化炭素スプレー装置、スプレーガン吐出能力50~80g/分 クリア塗料3種、有色塗料4種開発 有機溶剤系塗装における塗装仕上げ品質基準と同等以上
C-(1) 有害化学物質削減支援ツールの開発	ソリューションサイト型のWEBシステム	塗装、洗浄、印刷、接着を伴う製造業及びその他右記6物質を取り扱うプロセスを有する産業分野	トルエン、キシレン、ジクロロメタン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、クロロホルムの6物質及び塗装・印刷業務で使用する全VOC	VOCの使用・排出状況、VOC削減技術及び技術適用による削減効果、削減技術のコスト情報等を事業者等に提供することにより、VOC排出削減を支援するWebツールの開発。	我が国全体・事業所内のVOCフロー解析 エンドオブパイプ対策・インプラント対策に関する総合情報提供一削減技術、削減効果、コスト情報、CO ₂ 排出量事業者等が自ら各種試算ができ、対策選定を支援するWebツール公開 ツール機能の維持方法および情報提供サービスモデル策定

表Ⅱ-6 技術検討委員会、現地委員会開催状況

第1回	平成16年度	2005/02/04	NEDO 日比谷オフィス
第2回	平成17年度	2005/09/27	産業創造研究所 現地委員会
第3回		2005/10/04	西部技研 現地委員会
第4回		2005/10/06	昭和電工 現地委員会
第5回		2005/10/21	REO 研究所 現地委員会
第6回		2006/02/02	NEDO 日比谷オフィス
第7回	平成18年度	2006/10/13	NEDO 日比谷オフィス
第8回		2007/02/01	NEDO 日比谷オフィス
第9回	平成19年度	2007/10/02	NEDO 白金台研修センター
第10回		2007/11/09	エンバイロメント・テクノロジー・ベンチャーズ現地委員会
第11回		2008/01/25	JFE ソルデック 現地委員会
第12回		2008/02/04	タツノ・メカトロニクス 現地委員会
第13回		2008/01/18	日本ペイント 現地委員会
第14回		2008/02/06	NEDO 白金台研修センター
第15回	平成20年度	2008/06/18	創研（現シルバー精工） 現地委員会
第16回		2008/07/18	イマジニアリング 現地委員会
第17回		2008/08/27	NEDO 日比谷オフィス
第18回		2008/11/11	JFE ソルデック 現地委員会
第19回		2008/12/10	ケミクレア 現地委員会
第20回		2009/02/18	NEDO 日比谷オフィス

3. 情勢変化への対応

3.1 研究開発テーマの選定および採択の方針

当初、改正大気汚染防止法など法規制への対応という面から、エンドオブパイプ技術の開発を先行させたが、2年度目以降は、本質的な問題解決であり技術革新による競争力強化が見込めるインプラント技術の開発に注力した。さらに、開発されたエンドオブパイプ・インプラント技術をより有効に活用し、有害化学物質の削減をより効率的に進めることができるように、システム・ソフト技術の開発にも取り組んだ。

平成17年度（2年度目）の新規採択は、有害化学物質を削減できるインプラント技術として、抜本的な代替物質の開発等を優先的に採択した。一方、エンドオブパイプ技術は、昨年度採択テーマに比べ、顕著な削減効果（回収・再利用）が期待できる開発に限って採択した。さらに、有害化学物質削減の基礎基盤に資するその他の技術開発－有害化学物質削減に寄与するツールやデータベース、コンピュータシステムの開発などシステム・ソフト技術を採用した。

平成18年度（3年度目）及び平成19年度（4年度目）の新規採択は原則的にインプラント技術とし、抜本的に有害化学物質が削減できる新規プロセスを開発した。エンドオブパイプ技術については、高い削減量、新たな対象物質、コスト及び市場導入性等の点で、平成17年度以前の採択案件に比べて、未着手な分野又は顕著な波及成果が期待できる研究開発テーマに限って採択した。

表Ⅱ-7 研究開発テーマの選定および採択の方針

情勢	対応	具体的な対応
2年度目以降の全体方針	初年度は、VOCに対する緊急対応という観点から、エンドオブパイプ技術開発を先行させたが、2年度目は、抜本的な問題解決が図れるインプラント技術の開発に注力、また、システム技術の開発にも取り組む。	【インプラント技術】 B-(2)革新的水性塗料 (2005-2007) B-(3)溶剤フリー塗装 (2006-2008) B-(4)エステル合成プロセス (2007-2008) B-(5)革新的塗装装置 (2007-2008) 【システム技術】 C-(1)削減支援ツール (2005-2008)
2年度目以降のエンドオブパイプ技術の採択について	2年度目追加テーマ： 既存技術に比べ、顕著な削減効果(回収・再利用)が期待できるテーマに限って、公募、採択した。	A-(2)直接加熱式VOC回収装置 (2005-2007)
	3年目、4年目追加テーマ： 既存技術に比べて、大幅なコスト削減、未着手な分野、顕著な波及成果等が期待できるテーマに限って、公募、採択した。	A-(5)大気圧・空気プラズマ無害化装置 (2006-2008) A-(6)デュアルメンブレンガソリンベーパー回収装置 (2006-2008) A-(7)含塩素VOC分解固定化装置 (2006-2008)

3.2 加速財源投入実績（2006年度-2008年度）

優れた研究成果を上げている研究開発テーマに対しては、研究加速についても弾力的に対処するなど予算の効果的配分に努めた。

3.3 その他

平成19年度以降は、平成18年に行われた中間評価の結果に基づき、自主点検を強化して、ターゲット市場の明確化、既存技術との比較検討による優位性の明確化、トータルコスト低減を重視した実用化への取組み、リスク削減の定量化、成果の実用化、導入・普及が円滑に実施できるよう取り組んだ。

表Ⅱ-8 加速財源投入実績（2006年度-2008年度）

区分	研究開発テーマ		年度	金額 (百万円)	目的と内容
エンドパイプ技術研究開発	A-(2)	直接加熱式VOC吸着回収装置の研究開発	2006	9	可燃性VOC吸着回収装置の現場での実排ガスを対象とした試験により実用化を加速する。 実用的な装置を開発するため、実際にVOCを含む排ガスを排出している事業所に試作機を持ち込んで吸着回収試験を行う。VOC回収率の確認、電磁場加熱での温度制御性及び吸脱着過程での温度制御性の確認などの基礎的なデータ取得、実用化への課題抽出。
	A-(2)	直接加熱式VOC吸着回収装置の研究開発	2007	4	可燃性VOC吸着回収装置の吸着塔内部での温度均一性、温度制御性を向上させ、吸着脱離システムとしての完成度と安全性を高め、実用化を加速する。 トルエンの吸着・脱離は高温を必要とし、高い温度制御性が必要である。発熱剤の傾斜分布と磁場コイルの改良による吸着塔内部での温度均一性、温度制御性の向上。
	A-(5)	大気圧・空気プラズマを利用した揮発性有機化合物(VOC)等の無害化装置の開発	2007	7.5	大気圧・空気プラズマによる芳香族VOCの分解特性の把握と分解効率の向上により、無害化装置の開発を加速する。 新たに製作するホルムアルデヒド分解装置の機能を向上させ、トルエン、ベンゼンについても90%以上の分解効率を発揮できる3種VOC分解装置を製作。芳香族VOCの分解特性の把握と分解効率の向上に取り組み、性能検証を実施。
インプラント技術研究開発	B-(1)	非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発	2006	40	触媒コスト削減、安全性評価、工業レベルの生産技術開発によりレジスト材料の実用化を加速する。 高性能絶縁材料の触媒コストの削減、及び数十キログラムレベルでのスケールアップ技術の検討。 ユーザー評価結果をフィードバックし、工業レベルの生産技術を検討。 レジスト材料の人体に対する安全性評価。 原料を見直し、低コスト化を図る。
	B-(2)	革新的水性塗料の開発	2007	2	焼付乾燥型水性塗料の実証試験、市場調査により、実用化を加速する。 ユーザーサイトにて焼付乾燥型水性塗料の実証試験を実施、実用化への技術課題を検討。 焼付乾燥型水性塗料、常温乾燥型水性塗料に関する適用製品、業種、市場規模、ユーザーニーズなどを調査し、有害化学物質の削減効果、ライフサイクルコスト、波及効果を検討。
	B-(5)	革新的塗装装置の開発	2008	10	二酸化炭素適合塗料:複数色の有色塗料の開発、普及・調査活動により、実用化を加速する。 塗料会社との連携を強化し、顔料のサイズや濃度により塗料を最適化し、有色塗料の品揃えを増やす。 塗装業界において設備投資を伴う技術の普及を促すために、ワークショップの開催、普及活動とヒアリング調査。
システム・ソフト技術研究開発	C-(1)	有害化学物質削減支援ツールの開発	2006	19	排出削減量予測表示機能追加によりツール機能を向上し、ツールの利活用、普及を図る。 インプラント対策技術の情報及び検討結果をツールに取り込む、化学物質排出削減量予測表示機能追加。
	C-(1)	有害化学物質削減支援ツールの開発	2007	17	実態データの付加、IP対策・EOP対策の費用対効果を比較検討機能付加等により、ツール機能を向上し、ツールの利活用、普及を図る。 マイクロフロー解析ツールについてVOC排出現場の実態データの付加、EOP削減対策技術評価について適用実績の収集・データベース化、IP削減対策技術評価について設備コスト、運転コスト、適用事例及びIP対策技術に関する製品情報を収集・データベース化、並びに、IP対策・EOP対策を講じた場合の費用対効果を比較検討できる機能付加。
	C-(1)	有害化学物質削減支援ツールの開発	2008	23	ウェブサイトのセキュリティ機能向上、VOC排出削減の自主的取組を推進するための情報を提供し、ツールの利活用、普及を図る。 統合ツールのウェブサイトのセキュリティを保持するハードウェアとソフトウェアのシステムの開発、VOC排出削減の自主的取組を進めるにあたり、必要となる幅広い情報(関連法規・条例、行政窓口、対策実施に対する経済的・技術的支援、対策実施・成功例等)の収集、提供。

4. 中間評価結果への対応

中間評価結果は「おおむね現行どおり実施して良い」との評価。

中間評価での重要な指摘事項については、対処方針が策定され、平成 19 年度以降、適宜実施方針並びに実施計画に反映して推進されている。

主な指摘事項に対する平成 19 年度以降の対応を以下に記す。PDCA (Plan 計画-Do 実行-Check 評価-Act 改善) サイクルを回すと共に、技術検討委員会・現地委員会を点検の場とした。

< 実用化の体制の具体化 >

実用化の体制が十分でないテーマについて、市場ターゲットを明確にし、成果が見込める計画に変更した。主としてエンドオブパイプ技術研究開発。

< 既存技術との比較検討による優位性の明確化 >

狙う市場、既存の競争技術との比較・検討について取り組みが不十分であったテーマについて、詳細検討を行い、実施計画の一部修正(絞り込み、戦略作成)を行った。主としてエンドオブパイプ技術研究開発。

< トータルコスト低減を重視した実用化への取組み >

初期投資・ランニングコストを含めたトータルコスト低減に向けたシナリオを作成した。主としてエンドオブパイプ技術研究開発。

< リスク削減の定量化 >

主としてインプラント技術研究開発について、代替化によるリスク削減への寄与の検証を、成果物(装置、製品等)により確認する計画に変更した。

< 適切なマイルストーンの設定 >

全体について、「研究開発終了後の姿」、「実用化シナリオ」を明確にし、早期の実用化が図れるように、マイルストーンの設定やスケジュール管理を徹底した。

4.1 中間評価の概要

平成 18 年に行われた中間評価の結果、それに対する対応は次の通り。

総論

(1) 総合評価

PRTR 対象物質削減という時代の要請にこたえる目標を作ったことは評価できる。有害化学物質の無害化・回収・代替のアプローチがバランス良く組み合わせられると同時に、これらを支援するためのシステム開発にも取り組んでおり、プロジェクト全体のテーマ構成はよく考えられている。目標に即した結果が出ており、新しい技術の芽も見えている。早期利益の確保という風潮の中で、技術開発への余力が乏しくなっている現在、公的資金を将来のために使うのは大変重要であり、NEDO が取り組むに相応しいテーマである。また、単独では対策を立てにくい小規模、零細規模の生産施設に的を絞った研究は、有意義で期待度が高い。

しかしながら、一部では設定した目標が、現状に適切に対応したものではない懸念がある。すなわち、エンドオブパイプ技術では、他の競争技術についての検討が不十分な面も感じられる。また、工業的レベルでの実用性を考えると、イニシャルコストを含めたトータルコスト低減とメンテナンスの簡素化に一層努めるべきである。インプラント技術では、有害化学物質からの代替化を促しているが、代替化によるリスク削減への寄与の検証が必要である。

(2) 今後に対する提言

後半の研究開発の方向としては、全体として、実用化・工業化を具体的に目指した開発を行い、初期投資・ランニングコストを含めたトータルコストの低減、設置面積の低減、メンテナンスフリーに近い運転を可能とするための安定性と耐久性の向上、をめざすべきである。但し、テーマによっては、上市までのステップ（基礎研究、ベンチテスト、パイロットテスト、商品化開発、市場での評価）の中での現在位置を確認した上で、目標の絞込みや目標フェーズの見直しも必要である。エンドオブパイプ技術については、各々の技術の長所と短所を精査し、研究開発の具体的な対象、数値目標、将来の効果などを再検討する必要がある。

各論

(1) 事業の位置付け・必要性について

EU での RoHS 指令、REACH 規制などが進む中、有害化学物質のリスク削減のための基盤技術開発は、今後の日本及び世界にとって重要な課題であり、「化学物質総合評価管理プログラム」の目標達成に寄与している。エンドオブパイプ技術は、小規模、零細規模の生産設備における有害化学物質の処理施設が小規模・低コストなものとなり、必要な技術開発でありながら大きな経費負担が期待できないため、民間のみでは急速な改善・進歩は望めない。インプラント技術は、リスク削減という目的での技術開発が事業者の通常の投資活動の対象になりにくい。そのため、多くの一般事業者が採用可能な技術の開発支援を行うという NEDO の果たす意義は大きい。

プロジェクトに総花的な感があり、対策が急がれるが、今後、民間での対策技術開発が遅れている物質・業種などの技術に対象を絞り込むことも一考である。また、テーマによっては、内外の技術開発動向、国際競争力の状況、市場動向、国際貢献の可能性等から見て社会貢献を確信できないものがある。さらに、エンドオブパイプ技術では、既存技術に対する優位性について、それが投じた予算に見合うか、また、初期投資、ランニングコスト、長期信頼性など実用性の観点から見ても必ずしも明確ではない。

(2) 研究開発マネジメントについて

技術の利用者にヒアリングをするなど、現場のニーズや実態の把握に努めている点は評価できる。新技術の発掘やテーマの選定に適切な指導を行う体制により、目的達成への努力が伺える。原理の明確化、要素開発から実用化までを短期間で仕上げるための産学協同体制は望ましいものといえる。また、研究開発目標も各テーマで明確に示されている。

設定した目標が、現状に適切に対応したものではない懸念がある。また、エンドオブパイプ技術では、エネルギー消費量、削減可能な有害化学物質種類、形状（小型化）、価格などの総体で、既存技術をしのぐ目標設定が必要である。また、課題の提起と、その解決に向けたマイルストーン設定が不十分なテーマが多い。実用化の想定者を含めた体制づくりは、計画は記述されているが具体性に乏しい。インプラント技術では、削減対象物質を用いないプロセスへの転換が目標とされているが、リスク削減への寄与を検証する必要がある。

(3) 研究開発成果について

全体として成果は目標値をクリアしている。テーマによっては既にも実証実験に取り組み、また、実用化に向けた具体的な課題が明らかになっており、全般的に見ると着実に成果を上げている。特に、インプラント技術は、目標を順次達成してきており、特許申請もあるため、期待

できる。

エンドオブパイプ技術の一部は、成果のレベルと意義、普及努力、波及効果を見直す必要がある。

(4) 実用化・事業化の見通しについて

開発テーマの一部は近い将来での事業化が可能な状況にあり、開発成果の実用化を実現できる可能性が高い。また、本事業から得られる成果には高い新規性が予測され、技術的波及効果が期待できる。

インプラント技術については、実用化に向けてのシナリオができています。特に、レジスト材製法のグリーン化は、触媒コストの低減に課題が絞られており、今後の製品化、およびその製品の輸出にも期待できる。

エンドオブパイプ技術では、実用化へのシナリオが不十分であるものが見られる。すでに実用化されている既存技術との比較検討が十分でないため工業的利用における優位性が明確でないものが見られる。導入、メンテナンスを含むトータルコストの低下や信頼性向上など、実用化のための開発をより積極的に進めるべきである。その際に、実用化のためのコスト計算は実績を正確に把握して行うことが必要であり、現在の実用化評価の基準は必ずしも適切なものとはいえない。

(5) 個別テーマについて

[エンドオブパイプ技術]

全体として成果は目標値をクリアしており、将来への技術的波及効果は大きいと考えられる。また、対象業種のヒアリングを進めるなど、現場におけるニーズの把握に努めており、成果報告会などにより情報発信も行われている。

新規性、効果の点で、際だったものが見えない。既存技術との比較検討が十分でなく、工業的利用における優位性が明確でないものが見られる。実用化の対象を明確にしたうえで、環境改善効果とそれにかかるコストを精度高く試算し、それらの具体的な目標についても明確にすべきである。必要であれば、目標到達のための研究計画の見直しも行うべきである。さらに、市場規模の厳格な評価も必要である。

[インプラント技術]

いずれの開発テーマも目標値をクリアしており、目標達成が不完全な部分についても、その技術的問題点が検討され、より高い目標達成のための方針が提案されている。開発は順調に進行していると考えられ、魅力的な技術の芽がでてきていると評価できる。基板材料や塗料という幅広く利用される分野を対象にしており、実用化できれば応用範囲が広いと考えられる。開発の目的と目標、そこへの手順と進行状況が明確であり、今後の努力による発展に期待がもてる。

削減対象物質を用いないプロセスへの転換がリスク削減におよぼす寄与を検証する必要がある。また、工業化時のユーザーの初期投資なども考慮して、トータルコストのより一層の低減を目指した研究開発を進めてほしい。

[削減支援システム開発]

成果は当初の目標をクリアしている。有害性の高い化学物質に含まれる塩素原子のマスバランスを、国レベルで数値化したことに意義があり、NEDO などで行うべき研究開発であると考えられる。公開を前提としており、公共物としての価値も高い。

物質の流れと、排出量とで、必要とされる精度が異なるので、システムの利用目的に応じて出力精度の設定の仕方を考える必要がある。システムのメンテナンスと進化についてはシステム導入のための初期投資と維持・発展のための経費を明確にして、それらの低減のための方策を考える必要がある。フロー分析には手間がかかるので、対象を絞り込む必要がある。また、データベースは、それを継続的に維持・更新するシステムを構築することが極めて重要であり、今後どのように扱うのかを検討する必要がある。

4.2 中間評価への対応

中間評価での重要な指摘事項については、対処方針が策定され、平成 19 年度以降、適宜実施方針並びに実施計画に反映して推進されている。

具体的な中間評価段階での提言と対応を以下に記す。

<既存技術、競争技術との比較検討に対する提言>

[総論(1)総合評価]

設定した目標が、現状に適切に対応したものではない懸念がある。すなわち、エンドオブパイプ技術では、他の競争技術についての検討が不十分な面も感じられる。

[各論(1)事業の位置付け・必要性]

エンドオブパイプ技術では、既存技術に対する優位性について、それが投じた予算に見合うか、また、初期投資、ランニングコスト、長期信頼性など実用性の観点から見ても必ずしも明確ではない。

[各論(4)実用化・事業化の見通し]

既存技術との比較検討が十分でないため工業的利用における優位性が明確でないものがみられる。

[個別テーマ エンドオブパイプ技術]

新規性、効果の点で、際だったものが見えない。既存技術との比較検討が十分でなく、工業的利用における優位性が明確でないものが見られる。

<対応>

エンドオブパイプ技術に限らず、技術検討委員会において、逐次見直しを行い、テーマの中止・加速を進めるなど目標の見直しを含め対応済みのところであるが、エンドオブパイプ技術では、狙う市場セグメントや実用性の観点なども含めた技術総体としての既存競争技術との比較検討について、取り組みが不十分であったテーマに対して実施した。平成 19 年度以降の実施方針に反映した。

<コスト試算、コスト低減に対する提言>

[総論(1)総合評価]

イニシャルコストを含めたトータルコスト低減とメンテナンスの簡素化に一層努めるべきである。

[総論(2)今後に対する提言]

実用化・工業化を具体的に目指した開発を行い、初期投資・ランニングコストを含めたトータルコストの低減、設置面積の低減、メンテナンスフリーに近い運転を可能とするための安

定性と耐久性の向上、をめざすべきである。

[各論(4) 実用化・事業化の見通し]

導入、メンテナンスを含むトータルコストの低下や信頼性向上など、実用化のための開発をより積極的に進めるべきである。

[個別テーマ エンドオブパイプ技術]

環境改善効果とそれにかかるコストを精度高く試算し、それらの具体的な目標についても明確にすべきである。

[個別テーマ インプラント技術]

トータルコストのより一層の低減を目指した研究開発を進めてほしい。

[個別テーマ 削減支援システム開発]

システムのメンテナンスと進化についてはシステム導入のための初期投資と維持・発展のための経費を明確にして、それらの低減のための方策を考える必要がある。

<対応>

個別テーマについて、初期投資・ランニングコストを含めたトータルコスト低減とメンテナンスの簡素化を重視して実用化に向けたシナリオを作成した。平成 19 年度以降の実施方針及び実施計画書に反映した。

<インプラント技術、リスク削減への寄与の検証に対する提言>

[総論(1) 総合評価]

インプラント技術では代替化によるリスク削減への寄与の検証が必要である。

[各論(2) 研究開発マネジメント]

インプラント技術では、削減対象物質を用いないプロセスへの転換が目標とされているが、リスク削減への寄与を検証する必要がある。

[個別テーマ インプラント技術]

削減対象物質を用いないプロセスへの転換がリスク削減におよぼす寄与を検証する必要がある。

<対応>

インプラント技術では代替化によるリスク削減への寄与の検証を実施する様に平成 19 年度以降の実施方針及び実施計画書に反映した。

<開発目標に対する提言>

[総論(2) 今後に対する提言]

テーマによっては、上市までのステップ（基礎研究、ベンチテスト、パイロットテスト、商品化開発、市場での評価）の中での現在位置を確認した上で、目標の絞込みや目標フェーズの見直しも必要である。

エンドオブパイプ技術については、各々の技術の長所と短所を精査し、研究開発の具体的な対象、数値目標、将来の効果などを再検討する必要がある。

[各論(2) 研究開発マネジメント]

目標が、現状に適切に対応したものではない懸念がある。

[各論(3) 研究開発成果]

エンドオブパイプ技術の一部は、成果のレベルと意義、普及努力、波及効果を見直す必要がある。

<対応>

個別テーマについて、実用化ステップへの現在位置を把握しつつ、目標の絞込み等の再検討を行い平成 19 年度以降の実施方針に反映した。

<社会貢献度の明確化に対する提言>

[各論(1) 事業の位置付け・必要性]

テーマによっては、内外の技術開発動向、国際競争力の状況、市場動向、国際貢献の可能性等から見て社会貢献を確信できないものがある。

<対応>

各テーマについて社会貢献度を明確化し、NEDO 主催シンポジウムへの参加や環境関連展示会への出品、学会・プレス発表等を通して、広く国民にPRした。

<マイルストーンの設定に対する提言>

[各論(2) 研究開発マネジメント]

目標が、現状に適切に対応したものではない懸念がある。また、課題の提起と、その解決に向けたマイルストーン設定が不十分なテーマが多い。

<対応>

技術検討会において、技術課題とマイルストーンに関する議論を十分行うように改め、今後の進捗管理などの研究開発マネジメントを工夫し、各研究開発テーマにフィードバックした。

<実用化の体制に対する提言>

[各論(2) 研究開発マネジメント]

実用化の想定者を含めた体制づくりは、計画は記述されているが具体性に乏しい。

<対応>

実用化の体制の具体化が不十分なテーマについては市場ターゲットを明確にし、実効性を担保した計画を策定した。平成 19 年度以降の実施方針及び実施計画書に反映した。

<削減支援システム開発に対する提言>

[各論(5) 個別テーマ 削減支援システム開発]

物質の流れと、排出量とで、必要とされる精度が異なるので、システムの利用目的に応じて出力精度の設定の仕方を考える必要がある。フロー分析には手間がかかるので、対象を絞り込む必要がある。また、データベースは、それを継続的に維持・更新するシステムを構築することが極めて重要であり、今後どのように扱うのかを検討する必要がある。

<対応>

ユーザーの利用用途を考慮した設定になるように改善するとともに誤解を生じないようにデータソース及びその精度について平成 19 年度実施計画書に反映した。想定ユーザーにあわせてシステム仕様を絞り込み、よりユーザーフレンドリーなシステムとなるように改善し

た。また、システムの維持発展、メンテナンスが自立的に進められるビジネスモデルを検討した。

5. 評価に関する事項

5.1 中間評価の履歴

審議経過

第1回分科会（平成18年6月7日）

【公開セッション】

1. 開会、分科会の設置について、趣旨説明、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法について
4. 評価報告書の構成について
5. プロジェクトの全体概要について
事業の位置付け・必要性と、研究開発マネジメントについて
研究開発成果の概要と、実用化の見通しについて
質疑応答

【非公開セッション】

6. プロジェクトの詳細について
6-3 削減支援システム開発
6-1 エンドオブパイプ技術
6-2 インプラント技術
7. 全体についての質疑応答
8. 今後の予定、その他

第2回分科会（平成18年8月11日）

1. 開会、資料の確認
2. 評価報告書（案）の構成について
評価報告書（案）の確定までの進め方について
3. 評価結果（案）の審議および確定
4. 確認、その他

5.2 評価手法：外部評価

5.3 評価事務局：独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価部

5.4 評価項目・基準

1. 事業の位置付け・必要性について
(1) NEDOの事業としての妥当性
(2) 事業目的の妥当性
2. 研究開発マネジメントについて

- (1) 研究開発目標の妥当性
 - (2) 研究開発計画の妥当性
 - (3) 研究開発実施者の事業体制の妥当性
 - (4) 情勢変化への対応等
3. 研究開発成果について
- (1) 目標の達成度
 - (2) 成果の意義
 - (3) 特許等の取得
 - (4) 成果の普及
4. 実用化、事業化の見通しについて
- (1) 成果の実用化可能性
 - (2) 事業化までのシナリオ
 - (3) 波及効果

5.5 分科会委員リスト

- 分科会長 中西準子（産業技術総合研究所化学物質リスク管理研究センター
センター長）
- 分科会長代理 秋鹿研一（理工学振興会 専務理事 東京工業大学名誉教授）
- 分科会委員 浦野紘平（横浜国立大学大学院 環境情報研究院 教授）
越智光一（関西大学 工学部 応用化学科 教授）
神保重紀（日経BP社 日経エコロジー 編集長）
竹田允（(株)神鋼環境ソリューション 顧問）

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

1.1 開発フェーズ

研究開発テーマ毎の開発フェーズ及び開発成果を一覧表として表Ⅲ-1-1～表Ⅲ-1-6に示す。

13件の研究開発テーマの内訳としては、実用化1件、実証試験フェーズが7件、実証試験フェーズ・技術統合フェーズ双方を含むテーマが2件、要素技術開発フェーズ1件、研究開発事業を中止したテーマが2件である。多くのテーマは実用化あるいは実証試験フェーズに移行して、ユーザーへのサンプル配布試験、実証試験、得られた評価結果から開発課題を明らかにし、課題技術の解決を図っている。

研究開発テーマ毎の成果概要を1.3に記す。

1.2 研究成果

研究発表・講演、発表論文、特許等、新聞発表及び受賞実績他の数量をまとめて表Ⅲ-2 成果件数一覧表に示す。表Ⅲ-3に研究開発テーマごとの成果件数を示す。また、巻末の成果要約集には研究発表・講演、発表論文、特許等、受賞実績、新聞発表等の成果要約を示す。

研究開発テーマ「非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発」（委託先：昭和電工（株）、（独）産業技術総合研究所）は化学・バイオつくば財団第16回（2008）化学・バイオつくば賞を受賞した。研究開発テーマ「大気圧・空気プラズマを利用した揮発性有機化合物（VOC）等の無害化装置の開発」（委託先：イマジニアリング株）はエコジャパンカップ2008GE特別審査員賞を受賞した。また、研究開発テーマ「革新的塗装装置の開発」（委託先：加美電子工業（株）、（独）産業技術総合研究所）は第3回（2009）ものづくり日本大賞特別賞を受賞した。

NEDOにおいても各種の成果普及活動を通して、成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）並びに一般に向けて広く情報発信を行った。

NEDOによる成果普及活動

- ・ VOC削減技術ワークショップ（平成17年1月26日、東京都共催）
「規制と自主管理とベストミックスの構築に向けて」
- ・ 第1回エコケミカルシンポジウム（平成18年2月3日）
「有害化学物質削減技術に関する最新動向と環境ビジネス」
- ・ VOC排出削減支援ツールに関するセミナー（平成19年1月12日）
- どうしたら有害なVOCを削減できるのか？ -
- ・ VOC排出削減支援ツールに関するワークショップ（平成19年10月11日）東京
- どうしたら有害なVOCを削減できるのか？ -
- ・ VOC排出削減支援ツールに関するワークショップ（平成20年1月28日）岡山
- どうしたら有害なVOCを削減できるのか？ -
- ・ VOC排出削減支援ツールに関するワークショップ（平成20年1月30日）福岡
- どうしたら有害なVOCを削減できるのか？ -
- ・ 第3回エコケミカルシンポジウム（平成20年2月27日）
「有害化学物質削減技術に関する最新動向と環境ビジネス」

- ・ VOC排出削減支援ツールに関するワークショップ（平成20年7月18日）東京
- どうしたら有害なVOCを削減できるのか? -
- ・ VOC排出削減支援ツールに関するワークショップ（平成20年7月29日）大阪
- どうしたら有害なVOCを削減できるのか? -
- ・ VOC排出削減支援ツールに関するワークショップ（平成20年8月20日）東京
- どうしたら有害なVOCを削減できるのか? -
- ・ スプレー塗装業界におけるVOC対策セミナー（平成21年1月21日、22日）

NEDOによるパンフレットの作成

- ・ 有害化学物質リスク削減基盤技術研究開発プロジェクト（平成17年～平成20年）
- ・ 環境技術開発を成功させるために（平成18年、平成19年）
- ・ 【実践編】環境技術開発を成功させるために（平成19年）
- ・ 化学物質管理技術開発2007

表Ⅲ-1-1 研究開発テーマ毎の開発フェーズ、開発成果
エンドオブパイプ技術(A)

研究開発 テーマ	削減物質、実用化イメージ、目標	研究開発成果	達成度	
<p>A-(1) 吸着エレメントと プラズマを組合 わせた難処理 有害化学物質 除去の研究開 発</p>	<p>[削減物質] ホルムアルデヒド、アセト アルデヒド、エチレンオキ シド トルエン、キシレン、ベン ゼン、エチルベンゼン</p> <p>[実用化イメージ] [連続式プラズマ分解装置] 50～1200m³/時間 吸着困難な VOC 及び 100ppm 以下の汎用 VOC [バッチ式プラズマ分解装置] 1200～12000m³/時間 100ppm 以下の汎用 VOC</p> <p>[分野・プロセス] 印刷、塗装 化学工業 医療</p>	<p>[開発目標] 吸着剤を担持したハニカム吸着エ レメントで VOC を吸着濃縮し、プ ラズマで分解無害化する装置の開 発。</p> <p>[分解率] 連続式プラズマ分解・バッチ式プ ラズマ分解 VOC50ppm にて分解率 90%以上、風量 100m³/時間 [プロセス開発、装置開発] 装置試設計 電源および電極の耐久試験 1 年</p>	<p>[連続式] ホルムアルデヒド、トルエン等は 100ppm まで分解率 90%。 [バッチ式] トルエン等で 100ppm まで分解 率 90%。 [プロセス開発、装置開発] 接着工場、塗装ブース等に連続 式実証試験機を設置し、VOC 分解性能並びに耐久試験を実 施した。電源および電極の耐久 性不足が問題になったが、改良 開発により 1 年以上の耐久性 能を確保した。 装置試設計を完了。ランニング コストについては 100ppm 未満 の VOC で優位性。</p>	<p>A-(1)達成 実証試験 フェーズ</p> <p>電極・絶縁材の更 なる耐久性向上。 技術の普及は今 後の需要による。</p>
<p>A-(2) 直接加熱式 VOC 吸着回収 装置の研究開 発</p>	<p>[削減物質] トリクロロエチレン、テトラ クロロエチレン、ジクロロ メタン、トルエン、キシレン</p> <p>[実用化イメージ] [不燃性 VOC 吸着回収 装置] 処理風量 3～10 m³/分 [可燃性 VOC 吸着回収 装置] 処理風量(平均)50 m³/ 分</p> <p>[分野・プロセス] [不燃性 VOC 吸着回収 装置] 金属加工業(洗浄工程) [可燃性 VOC 吸着回収 装置] 印刷、塗装の乾燥工程、 化学工業の反応溶媒除 去</p>	<p>[開発目標] VOC 吸着回収における溶剤加熱 脱離工程を、スチームを用いず に電磁場のエネルギーを用いて行 う、小型、低コスト、高効率な装置 の開発とモニタリング技術の開 発。</p> <p>[回収率] VOC 回収率 90%以上 ※不燃性 VOC:3～10m³/分 VOC 吸着回収装置 ※可燃性 VOC:1m³/分、実用可 能性確認 [不燃性 VOC 吸着回収装置試設 計] 回収溶剤再利用 [回収装置支援ソフト開発] リアルタイムモニタリングによる運 転管理と溶剤管理ソフト</p>	<p>[不燃性 VOC] 3m³/分規模の回収装置を試 作、脱脂工程排ガスで実証試験 を行い、回収率 90%、回収溶剤 は再利用可能 [可燃性 VOC] 1m³/分にて回収率 93%、実用 可能性を確認した。風量 50m³/ 分の大型化の可能性を検証 中。 [不燃性 VOC 吸着回収装置試 設計] 3m³/分規模の不燃性 VOC 用 吸着回収装置を試作して、トリク ロロエチレン平均濃度 400 ppm の脱脂工程排ガスに対して半 年間の実証試験を行い、回収 率 90%かつ回収溶剤は再利用 可能であることが確認され、装 置の信頼性とシステムの実用 性が実証された。また、コンパク トな装置と低ランニングコストを 達成した。 [回収装置支援ソフト開発] 完成</p>	<p>A-(2)達成 [不燃性 VOC] 実証試験 フェーズ</p> <p>低コスト・コンパク ト化を達成(自主 研究)して、実用化 に目処。 [可燃性 VOC] 技術統合 フェーズ</p> <p>磁性体のキュリー 点制御技術を世 界で初めて回収 装置の温度制御 に適用。可燃性 VOC 吸着回収装 置については、自 主研究により装置 の実用性評価、実 用化を目指す。ト ルエン代替の酢 酸エチルなどにも 対応。</p>
<p>A-(3) 吸着相オゾン酸 化による排出有 害物質の完全 分解処理</p>	<p>[削減物質] ※排ガス処理 トルエン、 キシレン ※排水処理 アセトアル デヒド、トリクロロエチレン</p> <p>[実用化イメージ] [排ガス処理装置] 処理容量:10～100 m³/時 間、寸法 L0.6m×W0.6m ×H1.5m、 処理対象濃度～100ppm [排水処理装置] 処理容量:2 m³/日、寸法 L0.5m×W0.5m×H1.5m、 処理対象濃度～10mg/L</p> <p>[分野・プロセス] [排ガス処理装置] 印刷、塗装 [排水処理装置] 繊維工業、金属加工業 (洗浄工程)</p>	<p>[開発目標] VOC とオゾンシリカ系吸着剤に 吸着・高度に濃縮して、酸化反応 により VOC を分解する、小型、高 性能な分解処理装置の開発。</p> <p>[分解率] VOC 分解率 90%以上 ※排ガス処理装置 10～100 m³/時間 ※排水処理装置 2 m³/日 [プロセス開発、装置開発] 装置試設計</p>	<p>[分解率][プロセス開発、装置 開発] 排水処理装置 2 m³/日、排ガス 処理装置 10/ m³ 時間を試作。 ※排ガス処理装置 印刷工場にて 10ppm～100ppm のトルエン・キシレンの 90%以 上の分解を確認。 ※排水処理装置 10mg/L トリクロロエチレン含有 地下水の処理確認。 装置試設計完了</p>	<p>A-(3)未達 研究開発事業 は平成 18 年 度で終了した (実施機関解 散等)。</p> <p>吸着剤の劣化、分 解副生成物、過剰 オゾンの処理、吸 着剤の再生、処理 量が小さい、オゾ ン発生装置が高コ ストであること等 の課題検討未着 手のため、中止。</p>

表Ⅲ-1-2 研究開発テーマ毎の開発フェーズ、開発成果
エンドオブパイプ技術(A)

研究開発テーマ	削減物質、実用化イメージ、目標	研究開発成果	達成度	
<p>A-(4) マイクロバブルの圧壊による有害化学物質の高効率分解技術の開発</p>	<p>[削減物質] 有害化学物質-フェノール、N,N-ジメチルホルムアミド、トリクロロエチレン</p> <p>[実用化イメージ] 排水処理装置 排水処理システムの設計、提案。活性汚泥法等の既存処理システムと組み合わせたシステムの提案。</p> <p>[分野・プロセス] プラスチック加工業 金属加工業(洗浄工程) 化学工業、繊維工業</p>	<p>[開発目標] マイクロバブル圧壊により発生するOHラジカル等による有害物質分解の高効率化検討、高性能で実用的な排水処理技術の開発。</p> <p>[高濃度マイクロバブル発生装置] マイクロバブルの発生効率:濃度1000個/mL以上</p> <p>[分解率] 有害化学物質分解率90%以上 フェノール(300ppm)、N,N-ジメチルホルムアミド(300ppm)またはトリクロロエチレン(100ppm) 排水流量0.6m³/時間</p>	<p>[高濃度マイクロバブル発生装置] マイクロバブルの発生効率:濃度2000個/mL以上</p> <p>[分解率] オゾンを用いた排水処理システムを試作した。 フェノール等を含む高BODの化学工場排水を実用レベル処理を実証した。 N,N-ジメチルホルムアミド、トリクロロエチレンについては未確認。</p>	<p>A-(4)未達 研究開発事業は平成17年度で終了した(技術検討委員会判断)。</p> <p>フェノール以外の物質の分解試験、気相系の処理試験、マイクロバブルの圧壊のメカニズム解明、マイクロバブルの効果の検証、反応学的な検討のいずれもが未着手のため、中止。</p>
<p>A-(5) 大気圧・空気プラズマを利用した揮発性有機化合物(VOC)等の無害化装置の開発</p>	<p>[削減物質] ホルムアルデヒド、トルエン、キシレン、ベンゼン、エチルベンゼン</p> <p>[実用化イメージ] 排ガス処理装置 処理風量~60m³/時間、濃度~1000ppm、吸着困難なVOC</p> <p>[分野・プロセス] 化学工業 医療 自動車排ガス</p>	<p>[開発目標] 大気圧・空気プラズマ発生システムによるVOC分解試験、VOCを高速に分解する小型・安価な大風量処理装置の開発。</p> <p>[安定発生技術] マイクロ波と点火源による大気圧・空気プラズマ</p> <p>[分解特性] 分解試験:50~60%@200ppm以下</p> <p>[大風量化装置開発] 1500~30000m³/時間</p>	<p>[安定発生技術] 電子レンジ用マグネトロンを用いたマイクロ波発生装置と自動車エンジン用点火プラグの組み合わせで発生する大気圧・空気プラズマ技術を応用した、VOC酸化分解無害化装置を開発した。プラズマ安定発生は世界初。</p> <p>[分解特性] 低風量での分解試験では、ホルムアルデヒド96%分解(35ppm、100m³/時間)、トルエン70%分解(360ppm、16m³/時間)、ベンゼン70%分解(360ppm、16m³/時間)を達成した。</p> <p>[大風量化装置開発] ドラフトチャンバーの排ガス処理試験(風量100~1000m³/時間)、要求風量の1/10の性能。一方、数m³/時間の小風量では1000ppm前後の高濃度VOCを高い分解率で処理できる。</p>	<p>A-(5)未達 要素技術開発フェーズ</p> <p>プラズマ安定発生は世界初。 大風量化装置開発が未達であった。</p> <p>プラズマ点数の増加によるリアクター性能の向上、触媒技術との組み合わせによる性能向上等を図り、ドラフトチャンバー用処理風量に対応できる対策を講じる。今後2年以内を目処に、デモ機での性能検証、適用業種での実用化を目指す。</p>

表Ⅲ-1-3 研究開発テーマ毎の開発フェーズ、開発成果
 エンドオブパイプ技術(A)

研究開発 テーマ	削減物質、実用化イメージ、目標		研究開発成果	達成度
<p>A-(6) デュアルメンブレンシステムによるガソリンペーパー回収装置の開発</p>	<p>[削減物質] トルエン、キシレン、ベンゼン、エチルベンゼン、その他炭化水素</p> <p>[実用化イメージ] ガソリンペーパー液化回収装置 ガソリンスタンドでの給油時に発生するガソリンペーパーを液化して回収する。処理量：90L/分</p> <p>[分野・プロセス] ガソリンスタンド</p>	<p>[開発目標] 脱水膜、VOC膜の組み合わせによる水分フリーのガソリンペーパー回収装置の開発。</p> <p>[脱水膜] 露点温度-30℃ ゼオライト膜より高性能な炭素膜開発</p> <p>[VOC膜] 回収率95%(1回通過操作時) [プロセス開発、装置開発][装置全体回収率] ガソリン回収率99%以上(循環操作時) 耐久時間実ガソリンスタンド1年分(給油量850キロリットル) 装置試設計</p>	<p>[脱水膜] ゼオライト膜にて露点温度-30℃を達成した。 ゼオライト膜より高性能・コスト面で有利な炭素脱水膜を開発した。</p> <p>[VOC膜] シリコンゴム膜にて回収率99%を達成した。</p> <p>[プロセス開発、装置開発][装置全体回収率] 脱水用にゼオライト膜、ガソリンペーパー回収用にシリコンゴム膜を用いた実機サイズの回収装置による耐久試験を行い、実ガソリンスタンドでの1年相当の耐久性能を確認し、回収率97%を達成した。また、同システムによる実ガソリンスタンドに設置可能な法的認可を得たモデル機を完成させた。 性能・コスト面で有利な炭素脱水膜を用いて回収率99%以上確認。また、回収装置量産時のコスト、装置導入によるメリットを試算して、妥当性が検証できた。</p>	<p>A-(6)達成 実証試験 フェーズ</p> <p>先進国欧米には無い画期的回収システム。 市場導入を促進するため、平成21年度は、装置全体の耐久性能(2年分)を確認するとともに、コスト面で製品化に不可欠な炭素脱水膜のモジュール化、システム開発を行う(継続研究)。平成23年度より実ガソリンスタンドでの実証試験、平成24年度、市場導入を図る。</p>
<p>A-(7) 含塩素VOC高効率分解固定化装置の研究開発</p>	<p>[削減物質] トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ジクロロメタン</p> <p>[実用化イメージ] 含塩素VOC分解回収装置 処理量ジクロロメタン8~30トン/年 濃度1,000ppm以下</p> <p>[分野・プロセス] 金属加工業(洗浄工程)</p>	<p>[開発目標] 含塩素VOCを分解し、塩素を固定化する分解固定化剤の開発、VOC無害化プロセスの開発、並びに、分解固定化装置の開発</p> <p>[分解固定化剤の開発] VOC分解率99.9%以上 固定化剤転化率70% 固着無し 安価な分解固定化剤 [プロセス開発、装置開発] プロセスの実証 ジクロロメタン分解固定化装置試設計 処理済み固定化剤の利用</p>	<p>[分解固定化剤の開発] VOC分解率99.9%以上、転化率70%以上、固着無かつ安価な高比表面積酸化カルシウムを開発した。</p> <p>[プロセス開発、装置開発] 脱脂工程排出ガスを用いた実証試験により、ジクロロメタン濃度数百ppm、風量38L/分についてジクロロメタンのリーク無しで、目標時間を超える運転を達成した。実用化装置の試設計を行なって、本プロセスの優位性を確認した。さらに、使用済み固定化剤の利用先についても目途を付けた。</p>	<p>A-(7)達成 実証試験 フェーズ</p> <p>分解・固定化を一段で達成する世界初の装置。 技術の普及は今後の需要による。 平成24年度、市場導入を図る。</p>

表Ⅲ-1-4 研究開発テーマ毎の開発フェーズ、開発成果

インプラント技術(B)

研究開発テーマ	削減物質、実用化イメージ、目標	研究開発成果	達成度	
<p>B-(1) 非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発</p>	<p>[削減物質] ビスフェノール-A、ホルムアルデヒド</p> <p>[実用化イメージ] 絶縁材料</p> <p>[分野・プロセス] 電子材料</p>	<p>[開発目標] 非フェノール系樹脂原料を過酸化水素を用いて選択的にエポキシ化する手法を用い、PRTR削減対象物質を用いずに、電気・電子材料等に好適に用いられるレジスト材料等の新規製造法の開発。</p> <p>[プロセス開発] ・基質転化率 50%以上 ・モノエポキシ化選択率 90%以上 ・過酸化水素効率 80%以上</p> <p>[レジスト性能] 塩素系化合物を含まない電気絶縁性に優れ、信頼度の高い電気・電子材料。 ユーザー仕様による評価合格。 ・絶縁性能:HHBT試験後 10⁷Ω・cm 以上 ・ハンダ耐熱性:260℃×10秒、2回以上 ・可撓性:180°折り曲げ試験合格 ・安全性試験</p>	<p>ビスフェノール A、ホルムアルデヒド、フェノール等の PRTR 削減対象物質を用いずに、電気・電子材料に好適に用いられるレジスト材料等の新規製造法の確立に成功した。</p> <p>[プロセス開発] 非フェノール系樹脂原料の過酸化水素による選択的エポキシ化により、レジスト材料のスケールアップ試作に成功した。基質転化率等達成。</p> <p>[レジスト性能] 本材料用いたレジストを合成して、優れた絶縁信頼性等、ユーザー要求性能を確認した。</p>	<p>B-(1)達成実用化</p> <p>世界初の技術。従来レジスト組成(塩素系のエポキロールヒドリンを原料とするエポキシ含有)に比べ、開発したレジスト組成には残留せずノンハロゲンとなるために絶縁性が飛躍的に向上することを確認し、製品の差別化を行える見極めを得た。</p>
<p>B-(2) 革新的水性塗料の開発</p>	<p>[削減物質] トルエン、キシレン、エチルベンゼン</p> <p>[実用化イメージ] 焼付け型低 VOC 水性塗料</p> <p>[分野・プロセス] 塗装、金属製品・機械への塗装</p>	<p>[開発目標] VOC含有量を著しく低減して、塗料成分以外は水で構成される水性塗料の開発。</p> <p>塗装時の VOC 排出量が 5%以下 溶剤型塗料と同様に予備乾燥工程が不要 溶剤型塗料と同等のコスト、品質、塗装作業性などの製品レベル確保 ユーザー評価合格 塗膜厚 50μm 以上、タレ、ワキ不良無し、塗膜平滑性 Ra0.3 未満</p>	<p>[VOC 排出量] VOC5%以下の水性塗料を開発した。 溶剤型塗料では 60%、現行の水性塗料でも 10%を超える VOC 含有量を著しく低減して、塗料成分以外は水で構成される革新的水性塗料を開発した。</p> <p>[作業性、品質、コスト] ユーザーにおける実証試験で、塗膜厚 50μm 以上可能、外観良好。現行の水性塗料よりも工程短縮、短時間化が確認できた。溶剤系ラインでの塗料の置換え可能。コストも溶剤型と同等。</p>	<p>B-(2)達成実証試験フェーズ</p> <p>現時点で、VOC5%以下という数字は世界最高レベルである。実用化に向けての課題は仕上り外観と塗装作業性の両立であり、この解決には添加剤の最適化を図る。平成 21 年度に実用的なレベルの開発を終了させる。</p>
<p>B-(3) 溶剤フリー塗装技術の研究開発</p>	<p>[削減物質] トルエン、キシレン</p> <p>[実用化イメージ] 防食被覆膜 小型家電マグネシウムスピーカー、PC筐体等</p> <p>[分野・プロセス] 塗装、金属製品への塗装</p>	<p>[開発目標] 蒸着重合法を用いて合成したポリ尿素によって、マグネシウム合金等の金属製品を防食膜で被覆する塗装代替技術の開発。</p> <p>塗装における VOC の排出全廃 防食性能の優れたモノマー構成、膜厚決定 4 日間の塩水噴霧試験、熱サイクル試験 20 回 膜析出速度 0.2μm/分以上、膜厚分布±10%以内 実証機、スピーカーコーンによる連続運転にてユーザー評価合格</p>	<p>蒸着重合法を用いて合成したポリ尿素によって、マグネシウム合金等の腐食し易い金属製品を防食膜で被覆する塗装代替技術の開発を行い、塗装工程における VOC の排出を全廃すると共に、ドライシステムの採用により、均一被覆と高い防食性能を両立する実用化技術を開発した。</p> <p>最適なポリ尿素塗膜材料を見出した。製膜速度 1μm/分、±5%以内の膜厚分布を達成した。家電メーカーにおけるスピーカーコーンのサンプル評価は良好。量産化装置及び技術検討、コスト試算を行い実用化の見通しを得た。</p>	<p>B-(3)達成実証試験フェーズ</p> <p>本塗装代替技術開発は世界初である。</p> <p>PC筐体については、継続研究により製膜条件の最適化を行い、3次元立体形状物への応用を図り、市場拡大に伴う事業化を展開したい。筐体等への応用は平成 23 年(2011 年)度、製品化を目標。</p>

表Ⅲ-1-5 研究開発テーマ毎の開発フェーズ、開発成果

インプラント技術(B)

研究開発テーマ	削減物質、実用化イメージ、目標	研究開発成果	達成度
<p>B-(4) 有害廃棄物フリー 高効率エステル合 成プロセスの開発</p>	<p>[削減物質] トルエン、キシレン、四塩 化炭素、ベンゼン</p> <p>[実用化イメージ] マイクロ波加熱を用いた エステル製造プロセス ハロゲン化酢酸エステ ル類(医薬・農業中間体) アミノ酸エステル類(医 薬・太陽電池用色素中間 体)</p> <p>[分野・プロセス] 化学工業、化学品製造プ ロセス</p>	<p>[開発目標] エステル合成プロセスにおける副 成廃棄物や製造に使用する有害 薬品を削減しうる、マイクロ波加熱 方式によるエステル合成プロセス の開発。</p> <p>年産数トンレベルのモデルプラント 実証試験 6時間以内に80%以上の合成収 率、副成廃棄物等削減Eファク ター5以下 マイクロ波応答特性測定によるプ ロセス安全性指針、装置設計指針 取得 マイクロ波によるエステル合成に 適した触媒開発とアミノ酸エステ ル合成用不斉保持型触媒の開発</p>	<p>共沸脱水用のトルエンや硫酸触 媒を用いずに、マイクロ波加熱 と物理的脱水法によるモデルプ ラントにより、プロモ酢酸ベンジ ルの収率80%、6時間得量 18kg、年間生産量でトンレベル の製造とEファクター0.83、廃棄 物処理費の7割以上の削減を 達成した。 誘電特性評価により、安全性・ 装置設計指針を取得した。 マイクロ波加熱との併用効果を もたらすイオン液体型触媒等を 開発した。</p> <p>B-(4)達成 実証試験 フェーズ 技術統合 フェーズ(アミ ノ酸エステル)</p> <p>本開発プロセスの 適応範囲を拡大 するためには、新 規触媒などを中 心とする要素技術の ブラッシュアップ と複合化による高 機能化、マイクロ 波反応装置の大 型化を中心とする スケールアップ 技術の確立が課 題である。この目 的で平成21~22 年度は市場拡大 が見込まれるアミ ノ酸のエステル化 プロセスの完成に 注力する(継続研 究)。平成24年 度、事業化を目指 す。</p>
<p>B-(5) 革新的塗装装置の 開発</p>	<p>[削減物質] トルエン、キシレン、 エチルベンゼン</p> <p>[実用化イメージ] 二酸化炭素塗装 低VOCスプレー塗装</p> <p>[分野・プロセス] 塗装、樹脂製品・金属製 品への塗装</p>	<p>[開発目標] 高い塗装仕上げ品質を有する有 機溶剤系塗料の希釈剤を二酸化 炭素で代替して、VOC排出量を抑 制する二酸化炭素塗装の実証、 塗装装置及び塗料の開発。</p> <p>VOC排出量を2/3削減、CO₂使 用量を塗料の1/3以下 有機溶剤系塗料用スプレー装置 部分を置き換え可能な二酸化炭 素スプレー装置、スプレーガン吐 出能力50~80g/分 クリア塗料3種、有色塗料4種開 発 有機溶剤系塗装における塗装仕 上げ品質基準と同等以上</p>	<p>従来の塗装装置の塗料スプ レー装置部分を小規模改造に より置き換え可能な二酸化炭素 スプレー装置、希釈剤を全廃 した二酸化炭素塗装用塗料の 開発等により、高い塗装品質を 確保したまま、VOC排出量を 2/3削減する塗装システムを開 発した。CO₂使用量は塗料の1 /3以下である。塗料としてはク リア塗料3種、有色塗料6種を 開発した。連続式塗装装置を実 ラインに組み込み、実証運転を 行った。膜厚、仕上げ品質とも 良好で、ユーザー規格に合格の 評価結果を得て、本塗装機によ る塗装が実用レベルであること を確認した。本塗装方法は環境 低負荷なうえ、経済的にも既存 の塗装法よりもランニングコス トが低減され有利である。</p> <p>B-(5)達成 実証試験 フェーズ</p> <p>高意匠性樹脂部 品を塗装出来る二 酸化炭素塗装装 置と塗料の開発 は世界初の成果 である。 工業化課題(操作 性・連続安定性) を解決して工業化 装置確立を目指 す(継続研究)。更 に、塗料種拡大、 用途拡大を目指 す(自主研究)。</p>

表Ⅲ-1-6 研究開発テーマ毎の開発フェーズ、開発成果
システム・ソフト技術(C)

研究開発テーマ	削減物質、実用化イメージ、目標		研究開発成果	達成度
C-(1)有害化学物質削減支援ツールの開発	<p>[削減物質] トルエン、キシレン、ジクロロメタン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、クロロホルムの6物質及び塗装・印刷業務で使用する全VOC</p> <p>[実用化イメージ] ソリューションサイト型のWEB システム</p> <p>[分野・プロセス] 塗装、洗浄、印刷、接着を伴う製造業及びその他上記6物質を取り扱うプロセスを有する産業分野</p>	<p>[開発目標] VOC の使用・排出状況、VOC 削減技術及び技術適用による削減効果、削減技術のコスト情報等を事業者等に提供することにより、VOC 排出削減を支援する Web ツールの開発。</p> <p>我が国全体及び事業所内の VOC フロー解析 エンドオブパイプ対策・インプラント対策に関する総合情報提供ー削減技術、削減効果、コスト情報、CO2 排出量 事業者等が自ら各種試算ができ、対策選定を支援する Web ツール公開 ツール機能の維持方法および情報提供サービスモデル策定</p>	<p>VOC の使用・排出状況、VOC 削減に関する総合情報提供を行い、対象 6 物質、脱脂洗浄、スプレー塗装、グラビア印刷及び接着の VOC 使用主要 4 業務を対象として、自社の条件で VOC 排出削減の試算ができ、対策選定を支援する Web ツールを開発して、平成 19 年度から WEB 上に無償公開中。毎月 8 千ページ前後のアクセスがあり、排出事業者、技術サプライヤー、行政担当者等に対しても本ツールは普及しつつあり、さらに広く普及・波及することで、VOC の自主的な排出削減の取り組みを誘導する効果が期待できる。</p> <p>ツール機能の維持、並びに、情報提供サービスの自立化を検討して、サービスモデルを策定した。</p>	<p>C-(1)達成 実証試験 フェーズ 自治体のホームページのリンクを含め、排出事業者など多様な事業者などに利用されている。ビジネスベースでのツール運営は現段階では難しいため、ツールの公開と並行し、フォローアップ研究として、リンク先の更新などデータベースのメンテナンスを実施している。2 年を目処にフォローアップを継続し、VOC 削減要請の加速化状況などを鑑みて、公的団体もしくは開発事業者のホームページでの公開に移行させる計画。</p>

表Ⅲ-2 成果件数一覧表

全研究開発課題集計 成果件数一覧表(平成16年－平成21年)

成果	年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	合計	備考
研究発表・講演 (口頭発表も含む)		9	35	45	48	37	7	181	—
発表論文		4	3	16	4	2	2	31	他、平成21年度作成中1
内、査読付き		0	1	3	2	0	1	7	—
特許等		3	13	39	17	7	4	83	—
内、外国・PCT出願		0	2	10	6	2	0	20	—
受賞実績		0	0	0	0	2	1	3	—
新聞発表		1	3	5	9	7	3	28	—

エンドオブパイプ技術 開発課題毎の成果件数一覧表(平成16年－平成21年)

成果	年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	合計	備考
研究発表・講演 (口頭発表も含む)		9	30	27	21	10	0	97	—
発表論文		4	2	12	2	1	0	21	他、平成21年度作成中1
内、査読付き		0	1	3	1	0	0	5	—
特許等		1	1	5	5	5	2	19	—
内、外国・PCT出願		0	0	0	0	0	0	0	—
受賞実績		0	0	0	0	1	0	1	—
新聞発表		1	1	2	2	0	0	6	—

インプラント技術 開発課題毎の成果件数一覧表(平成16年－平成21年)

成果	年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	合計	備考
研究発表・講演 (口頭発表も含む)		0	3	18	14	8	7	50	—
発表論文		0	1	4	2	1	2	10	—
内、査読付き		0	0	0	1	0	1	2	—
特許等		2	12	34	12	2	2	64	—
内、外国・PCT出願		0	2	10	6	2	0	20	—
受賞実績		0	0	0	0	1	1	2	—
新聞発表		0	2	2	7	6	3	20	—

システム・ソフト技術 開発課題毎の成果件数一覧表(平成16年－平成21年)

成果	年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	合計	備考
研究発表・講演 (口頭発表も含む)		0	2	0	13	19	0	34	—
発表論文		0	0	0	0	0	0	0	—
内、査読付き		0	0	0	0	0	0	0	—
特許等		0	0	0	0	0	0	0	—
内、外国・PCT出願		0	0	0	0	0	0	0	—
受賞実績		0	0	0	0	0	0	0	—
新聞発表		0	0	1	0	1	0	2	—

表Ⅲ-3 研究開発テーマごとの成果件数

区分	研究開発テーマ 委託先	研究発表 ・講演	発表論文	発表論文 査読付き	特許等	新聞発表	受賞 実績他	
エンドオブパイプ技術 (EP)	吸着エレメントとプラズマを組合わせた難処理有害化学物質除去の研究開発 (株) 西部技研	15	6 <small>(1件作成中)</small>	2	3	3	—	
	直接加熱式VOC吸着回収装置の研究開発 エンバイロメント・テクノロジー・ベンチャーズ(株) (独) 産業技術総合研究所							39
	吸着相オゾン酸化による排出有害物質の完全分解処理 (財) 産業創造研究所 東洋インキエンジニアリング(株) 岩尾磁器工業(株)	6	—	—	—	—	—	
	マイクロバブルの圧壊による有害化学物質の高効率分解技術の開発 (株) R E O 研究所 (独) 産業技術総合研究所	16	6	1	—	—	—	
	大気圧・空気プラズマを利用した揮発性有機化合物(VOC)等の無害化装置の開発 イマジニアリング(株)	3	—	—	2	—	エコジャパンカップ2008GE特別審査員賞	
	デュアルメンブレンシステムによるガソリンペーパー回収装置の開発 (株) タツノ・メカトロニクス (独) 産業技術総合研究所	14	2	0	2	3	—	
	含塩素VOC高効率分解固定化装置の研究開発 JFE ソルデック(株)	4	—	—	2	—	—	
	インプラント技術 (IP)	非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発 昭和電工(株) (独) 産業技術総合研究所	15	2	0	50 <small>外国出願10 PCT出願10</small>	2	第16回(2008)化学・バイオつくば賞
		革新的水性塗料の開発 日本ペイント(株)	14	5	1	9	5	—
		溶剤フリー塗装技術の研究開発 シルバー精工(株)	5	1	0	2	3	—
有害廃棄物フリー高効率エステル合成プロセスの開発 (株) ケミクレア (独) 産業技術総合研究所		8	1	0	1	5	—	
革新的塗装装置の開発 加美電子工業(株) (独) 産業技術総合研究所		8	1	1	2	5	第3回(2009)ものづくり日本大賞	
システム・ソフト技術	有害化学物質削減支援ツールの開発 (株) 三菱化学テクノリサーチ (株) 三菱総合研究所	34	—	—	—	2	—	
	計	181	31 <small>作成中1</small>	7	83 <small>外国出願10 PCT出願10</small>	28	3	

1.3 成果の概要

A-(1):吸着エレメントとプラズマを組合わせた難処理有害化学物質除去の研究開発

委託先:西部技研

本研究における VOC 分解原理は、平行平板電極の隙間（2mm 程度）に吸着剤を担持したハニカムを入れ、電極に交流（60Hz 程度）高電圧（10kV 程度）を印加することによりプラズマを発生させ、吸着剤に吸着された VOC をプラズマ及びプラズマによって発生したオゾンを用いて分解する、というものである。さらに、プラズマ発生部の後段に設けられた触媒エレメントによりオゾンがトラップされると同時に VOC の一部が分解される。平行平板電極を覆う誘電体（マイカ）の素材・厚さ、吸着剤の種類、触媒の種類がそれぞれ VOC の分解率に大きな影響を与えるため、これらの最適化を行った。この結果、連続式プラズマ分解装置では、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、ベンゼン、トルエン、キシレン、エチルベンゼン、エチレンオキシドは入口濃度 100ppm まで、分解率 90%を達成した。一方、数百 m³/時間を超える大風量の希薄 VOC の処理に関しては、VOC ガスを一旦装置内に滞留させプラズマ分解させる方法（バッチ式プラズマ分解方式）により、トルエン等で入口濃度 100ppm まで分解率 90%を達成した。接着工場、塗装ブース等に連続式実証試験機を設置し、VOC 分解性能並びに耐久試験を実施した。課題となった電源の耐久性について、新しい電源装置の開発により 1 年以上の耐久性能を確保した。

A-(2):直接加熱式VOC吸着回収装置の研究開発

委託先:エンバイロメント・テクノロジー・ベンチャーズ・産業技術総合研究所

スチーム源、水処理設備などの付帯設備が不要な吸着回収装置とし、VOC 除去効率 90%以上、3～10m³/分規模の VOC 吸着回収装置の開発を目的とし、不燃性 VOC（トリクロロエチレン等）の吸着回収用に繊維状活性炭通電加熱方式、可燃性 VOC（トルエン等）の吸着回収用に専用吸着剤+マイクロ波・高周波加熱方式による装置の開発を進めた。3m³/分規模の不燃性 VOC 用吸着回収装置を試作して、トリクロロエチレン平均濃度 400 ppm の脱脂工程排ガスに対して半年間の実証試験を行い、回収率 90%かつ回収溶剤は再利用可能であることが確認され、装置の信頼性とシステムの実用性が実証された。また、コンパクトな装置と低ランニングコストを達成した。一方、可燃性 VOC 用回収装置に関しては、処理能力 1m³/分にて回収率 93%を達成し、実用可能性を確認した。磁性体のキュリー点制御技術を世界で初めて回収装置の温度制御に適用した。現在、処理風量 50m³/分までの大型化の可能性を検証中である。

A-(3):吸着相オゾン酸化による排出有害物質の完全分解処理

委託先:産業創造研究所・岩尾磁器・東洋インキエンジニアリング

排水中・排ガス中に溶存する有害化学物質とオゾンをハイシリカゼオライトの細孔へ選択的に吸着させ高度に濃縮された反応場を創製することにより、小型、高性能で維持管理が容易であり、経済性に優れた PRTR 対象有害化学物質分解処理装置の開発を進めた。小型カラム試験及び反応解析等を行って吸着相の仕様や装置の運転条件を検討するとともに、プロトタイプ機（排水処理装置：2m³/日、排ガス処理装置：10Nm³/時間）を試作した。トリクロロエチレン含有地下水を対象に処理実験を行い、10mg/L レベルの高濃度排水が処理できることを確認した。排ガス処理装置については、印刷工場にて 10ppm～100ppm のトルエン・キシレン含有ガスの処理実験を行い、90%以上の分解が可能であることを確認した。

実施機関解散等の理由により研究開発事業は平成 18 年度で終了した。

A- (4): マイクロバブルの圧壊による有害化学物質の高効率分解技術の開発

委託先: REO 研究所・産業技術総合研究所

マイクロバブル圧壊による OH ラジカル等の発生メカニズム、並びにフェノール単物質の分解を詳細に検討した。また、高濃度マイクロバブル発生・圧壊装置を開発し、マイクロバブル発生量の向上と十分な圧壊が生じることを確認した。開発した高濃度マイクロバブル発生・圧壊装置によりオゾンマイクロバブルを用いた排水処理システムを試作し、フェノール等を含む高 BOD 濃度の化学工場排水を分解処理し、実用レベルで処理できることを実証した。

技術検討委員会判断により研究開発事業は平成 17 年度で終了した。

A- (5): 大気圧・空気プラズマを利用した揮発性有機化合物(VOC)等の無害化装置の開発

委託先: イマジニアリング

電子レンジ用マグネトロンを用いたマイクロ波発生装置と自動車エンジン用点火プラグの組み合わせで発生する大気圧・空気プラズマ技術を応用した、小型、安価に高速で VOC を含んだ排気ガス等を酸化分解無害化できる装置を開発した。濃度数百 ppm のホルムアルデヒド、トルエン、ベンゼン等を対象として、数千 m³/時間の大風量化を目標とした。プラズマ安定発生は世界初。リアクター形状やプラズマ発生時間を最適化した試験装置により、ワンパスでホルムアルデヒド 96% 分解 (35ppm、100m³/時間)、トルエン 80% 分解 (78ppm、60m³/時間)、ベンゼン 70% 分解 (360ppm、16m³/時間) を達成した。ドラフトチャンバーの排気ダクトにおける排ガス処理 (風量 100~1000m³/時間) 試験を実施したところ、要求処理風量の 1/10 の処理量にとどまり、大風量化には至らなかった。一方、数 m³/時間の小風量では 1000ppm 前後の高濃度 VOC を高い分解率で処理できることから、小風量にて VOC を処理する適用業種、密閉空間での循環処理に特化した用途を検討していく。

A- (6): デュアルメンブレンシステムによるガソリンベーパー回収装置の開発

委託先: タツノ・メカトロニクス・産業技術総合研究所

石油給油所におけるガソリンベーパーの排出削減の対策技術として、大気中の水蒸気を分離除去するための脱水膜と、ガソリンベーパーを回収するための VOC 透過膜で構成されるデュアルメンブレンシステムにより水分フリーのガソリンベーパーを濃縮回収し、凝縮液化させて液化ガソリンとして給油中の車のタンクに戻す新方式の回収装置を開発した。先進国欧米には無い画期的回収システムである。脱水用にゼオライト膜、ガソリンベーパー回収用にシリコンゴム膜を用いた実機サイズの回収装置による耐久試験を行い、実ガソリンスタンドでの 1 年相当 (給油量 850 キロリットル) の耐久性能を確認し、回収率 97% を達成した。また、実ガソリンスタンドに設置可能な法的認可を得たモデル機を完成させた。更に、性能面・コスト面で有利な炭素脱水膜の設計・製作を完了して、回収率 99% 以上を確認した。また、回収装置量産時のコスト、装置導入によるメリットを試算して、妥当性が検証できた。

A- (7): 含塩素 VOC 高効率分解固定化装置の研究開発

委託先: JFE ソルデック

含塩素揮発性有機化合物 (含塩素 VOC) を分解し、塩素を固定化して、安全な廃棄或いは再利用す

ることを可能とする分解固定化剤の開発、燃焼法や活性炭吸着法等の既存技術を上回る VOC 無害化プロセスの開発及び分解固定化装置の事業化の検討を実施した。分解・固定化を一段で達成する世界初の装置である。分解固定化剤としては安価な水酸化カルシウムを原料とする高比表面積酸化カルシウムを開発した。金属部品の脱脂工程から排出される実ガスを用いたベンチテスト機による実証試験により、ジクロロメタン濃度数百 ppm、風量 38L/分についてリークがない状態で、積算 138 時間（目標 84 時間）の運転を達成した。また、実用化装置の試設計を行なって、競合プロセスとの比較を行い、本プロセスの優位性を確認した。さらに、使用済み固定化剤の利用先についても目途を付けた。

B-（1）：非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発

委託先：昭和電工・産業技術総合研究所

本事業では、ビスフェノール A、ホルムアルデヒド、フェノール等の PRTR 削減対象物質を用いずに、電気・電子材料に好適に用いられるレジスト材料等の新規製造法の確立に成功した。世界初の技術である。また、従来レジスト組成（塩素系のエピクロロヒドリンを原料とするエポキシ含有）に比べ、開発したレジスト組成は塩素が組成中には残留せずノンハロゲンとなるために絶縁性が飛躍的に向上することを確認し、製品の差別化を行える見極めを得た。具体的には、非フェノール系樹脂原料を過酸化水素を用いて選択的にエポキシ化する手法を用い、過酸化水素量、触媒量、濃度、反応温度、時間の最適化を行うことにより、レジスト材料の構成原料の一つである CEA（3,4-エポキシシクロヘキサン-1-カルボン酸アシル）を 1kg レベルのスケールで、かつ基質転化率 75%、モノエポキシ化選択率 91%、過酸化水素効率 87%と極めて高効率な反応成績を収めることが出来、触媒原単位の目標値（0.05kg/kg）も達成するとともに、20kg レベルのスケールアップ試作に成功した。また、CEA と反応させる構成原料である、PCU（ポリカーボネートジオールベースポリウレタン樹脂）について、ポリオール部分を C6 から C9 に変更するなど、骨格の最適化を行い、100kg のスケールアップ試作にも成功した。さらに、CEA と最適化された PCU を用いて、目的のレジスト材料の合成を行い、従来の材料と比較し耐メッキ、耐ハンダ性は同等の特性であるだけでなく、低そり性に優れ、特に長期絶縁信頼性は、85℃、85%湿度で 500 時間放置後でも絶縁性の低下が発生しないことを確認した。

B-（2）：革新的水性塗料の開発

委託先：日本ペイント

溶剤型塗料では 60%、現行の水性塗料でも 10%を超える VOC 含有量を著しく低減して、塗料成分以外は水で構成される革新的水性塗料を開発した。塗装時の VOC 排出量が 5%以下、溶剤型塗料のプロセス同様に予備乾燥工程が不要であり、かつ、溶剤型塗料と同等のコスト、品質、塗装作業性などの製品レベルを有する水性塗料を目標とした。塗料を構成する複数の樹脂や添加剤等の疎水性物質を水中で分散安定化させ低分子量化を達成する複合樹脂系エマルジョン技術、顔料の水中での分散安定化を達成する顔料分散用グラフトポリマー技術、溶剤型と同じ塗装プロセス・塗装性を達成するための高固形分（60%以上）・低粘度化からなる塗料粘性制御技術等の各技術を最適化して、開発目標を達成した。本開発塗料は、大手鋼製家具メーカーでの実証試験で、目標塗膜厚 50 μ m 以上を付着させる事ができ、仕上がり外観も問題なく、現行の水性塗料よりも工程短縮、短時間化が確認できた。実証試験を通じて溶剤系ラインでの置換え可能という評価も得た。塗料のコストも溶剤型塗料と同等を達成した。実用化に向けての課題は仕上り外観と塗装作業性の両立であり、この解決には添加剤の最適化を図る。また、最終目標の VOC ゼロ、即ち完全水性化には、架橋反応時に発生する 1%の揮発物

を回避する架橋系の探索中である。現時点で、VOC5%以下という数字は世界最高レベルである。

B-(3): 溶剤フリー塗装技術の研究開発

委託先: シルバー精工

蒸着重合法を用いて合成したポリ尿素によって、マグネシウム合金等の腐食し易い金属製品を防食膜で被覆する世界初の塗装代替技術の開発を行い、塗装工程におけるVOCの排出を全廃すると共に、ドライシステムの採用により、均一被覆と高い防食性能を両立する実用化技術を開発した。各種のジアミンモノマーとジイソシアナートモノマーの組合せ最適化による塗膜材料開発、均一被覆技術開発、インライン式蒸着重合装置を使用した実用規模試作機による成膜サンプルの実用化評価を行った。塩水噴霧試験に耐えうる最適な塗膜材料として脂肪族ジアミンと脂環族ジイソシアナートの組合せを見出した。実用規模試作機による製膜では1 μ m/分の製膜速度と \pm 5%以内の良好な膜厚分布を達成した。ポリ尿素による防食膜を成膜したマグネシウムスピーカーコーンのサンプルを家電メーカーに提出して、音質評価で良好な評価を得た。量産化装置及び技術検討、コスト試算を行い実用化の見通しを得た。

B-(4): 有害廃棄物フリー高効率エステル合成プロセスの開発

委託先: ケミクレア・産業技術総合研究所

化学品の合成反応として工業的に重要なエステル化反応について、マイクロ波加熱方式を用いた合成プロセスを開発して、副成廃棄物や製造に使用する有害薬品を大幅に削減した。ハロゲン化酢酸エステル類（医薬・農薬中間体）、アミノ酸エステル類（医薬・太陽電池用色素中間体）をターゲットとして、モデルプラント実証試験、プロセス安全性や反応装置設計指針の取得を目指した。更に、本合成プロセスの適応拡大のために触媒開発を行った。共沸脱水用の溶媒であるトルエンや硫酸触媒を用いずに、マイクロ波加熱と物理的脱水法を組み合わせたベンチモデルプラントにより、ブromo酢酸ベンジルの年間生産量でトンレベルの製造と廃棄物処理費の7割以上の削減を達成した。また、過去に評価事例のない、アミノ酸系、ブromo酢酸系の腐食性かつ高温の実反応条件下での誘電特性評価を行い、反応暴走リスク評価やマイクロ波の内部浸透評価を行って、各種の設計指針を得た。更に、マイクロ波加熱と触媒の併用により複合効果をもたらすイオン液体型触媒等を開発した。

B-(5): 革新的塗装装置の開発

委託先: 加美電子工業・産業技術総合研究所

プラスチックへの塗装等に用いられ高い塗装仕上げ品質を有する有機溶剤系塗料によるスプレー塗装は、塗装業界における主要な塗装方法であり、VOCを大量に排出している。本研究開発では、塗料の希釈剤を二酸化炭素で代替する二酸化炭素塗装の実証を目的として、従来の塗装装置の塗料スプレー装置部分を小規模改造により置き換え可能な二酸化炭素スプレー装置の開発、希釈剤を全廃した二酸化炭素塗装用塗料の開発等により、高い塗装品質を確保したまま、VOC排出量を抑制する世界初の塗装システムを開発した。二酸化炭素塗装用塗料としてはクリア塗料・有色塗料を各複数種・複数色を開発した。高圧ガス保安法に準拠した連続式塗装装置を加美電子工業の実ラインの塗装ロボットに組み込み、実証運転を行った。膜厚、仕上げ品質とも良好で、塗装した部品をユーザーにサンプル出荷し、ユーザー規格に合格の評価結果を得て、本塗装機による塗装が実用レベルであることを確認した。

C-1) : 有害化学物質削減支援ツールの開発

委託先: 三菱化学テクノロジー・三菱総合研究所・産業技術総合研究所

本研究開発は、VOC の流通・使用・排出状況（我が国全体、事業所内）、エンドオブパイプ対策・インプラント対策等の VOC 削減技術並びにサプライヤーの紹介、削減技術適用による VOC 削減効果試算、削減技術のコスト・見積情報等、VOC 削減技術に関する幅広い情報を排出事業者等に提供することにより、間接的に VOC を削減することを目指した。トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ジクロロメタン、クロロホルム、トルエン及びキシレンの 6 物質、脱脂洗浄、スプレー塗装、グラビア印刷及び接着の VOC 使用主要 4 業務を対象として、複数の対策について自社の条件で各種試算ができ、対策選定の手助けをする Web ツール【略称：VOC ナビ】を開発して、インターネット上に無償で公開した。毎月 8 千ページ前後のアクセスがあり、排出事業者、技術サプライヤー、行政担当者等に対しても本ツールは普及しつつあり、さらに広く普及・波及することで、VOC の自主的な排出削減の取り組みを誘導する効果が期待できる。現時点で、経済産業省ホームページをはじめ 21 自治体などから本ツールへリンクが張られており、本ツールは関係者のニーズに対応した機能・内容を備えていると判断している。

ツール機能の維持方法および情報提供サービスモデル策定については、ビジネスベースでのツール運営は現段階では難しいため、ツールの公開と並行し、フォローアップ研究として、リンク先の更新などデータベースのメンテナンスを実施している。2 ヶ年を目処にフォローアップを継続し、VOC 削減要請の加速化状況などを鑑みて、公的団体もしくは開発事業者のホームページでの公開に移行させる計画である。

2. 研究開発項目毎の成果

次ページ以降に、研究開発テーマごとの成果詳細を記す。

2-A-(1) 吸着エレメントとプラズマを組合わせた難処理有害化学物質除去の研究開発
プロジェクトリーダー：株式会社西部技研、氏名 岡野浩志
実施企業 株式会社西部技研

1. 研究概要

1-1. 背景

環境省は、揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds : 以下 VOC と略す) の排出量を、平成 22 年度までに平成 12 年度に比べて 3 割削減する目標を立てている。しかしながら、平成 18 年 4 月 1 日から施行された改正大気汚染防止法 (以下 改正大防法 と略す) での削減率は 1 割程度と見込まれており、残り 2 割は自主的取り組みによって削減する必要が生じている。

改正大防法によって規制を受ける VOC の排出源は、比較的大規模な事業所であり、これら事業所の VOC の処理は燃焼法が一般的になっている。一方、規制を受けない中小事業所 (自主的取り組み) では、設備の稼働状況が大規模事業所に比べて低く、VOC の排出が連続でないことや、24 時間操業でないため、燃焼法を導入しにくい。また、燃焼温度の維持や予熱のために助燃剤が必要なことや、助燃剤を供給するためのガスまたは石油燃料施設が必要なことも、中小事業所への処理装置導入の妨げとなっている。

VOC 排出量の削減のためには、中小事業所でも自主管理でき、削減効果が大きく、汎用性が高く、安価な装置開発が求められている。

1-2. 本研究の意義

西部技研が製造販売している VOC 濃縮装置は、大規模事業所を中心に今日までに 400 台以上導入されており、燃焼装置との組み合わせで 20000 トン/年以上の VOC を削減している。本研究テーマである吸着エレメントとプラズマを組合わせた「吸着プラズマ分解」は、VOC 濃縮装置で積み重ねた吸着濃縮の技術にプラズマ分解技術を融合させた新しい技術であり、中小事業所で導入可能な VOC 処理装置の基盤技術として開発中である。吸着プラズマ分解は、燃焼法、吸着法といった従来の技術では経済的に処理困難な VOC を分解できるだけでなく、動力が電気のみでよく、必要なときのみ装置を起動できるといった特長を有している。本技術を応用することで、中小事業所が簡単に導入・設置・運転管理できる装置の開発が期待できる。

1-3. 目的

本研究では、VOC のリスク削減に焦点を当て、リスク削減の方策である排出工程での回収・無害化対策 (エンドオブパイプ対策) として、削減効果が大きく、汎用性が高く、かつ、安価で中小事業所等でも自主管理できる実用化基盤技術を確立する。

表 A-(1)-1 に平成 16 年度、平成 17 年度の目標を示す。VOC 処理濃度は、濃縮しても助燃剤が必要で経済的に処理困難な希薄濃度とした。また、削減対象物質として、平成 16 年度は、燃焼法や吸着法では処理困難な VOC (エチレンオキシド、臭化メチル、ホルムアルデヒド、

アセトアルデヒド：以下 難処理 VOC とする) を、平成 17 年度には排出量の多い VOC (トルエン、キシレン、ベンゼン、エチルベンゼン：以下 汎用 VOC とする) を追加した。これら処理濃度、処理物質をターゲットとして、中小事業所が簡単に導入・設置・運転管理できる吸着プラズマ分解システムの開発を目的とする。

表 A-(1)-1 平成 16 年度、平成 17 年度目標

	平成 16 年度			平成 17 年度		
	処理濃度 (ppm)	処理風量 (m ³ /h)	除去率 (%)	処理濃度 (ppm)	処理風量 (m ³ /h)	除去率 (%)
エチレンオキシド	30	100	70	50	100	90
ホルムアルデヒド						
アセトアルデヒド						
トルエン						
キシレン						
ベンゼン						
エチルベンゼン						
臭化メチル	30	100	70	30	6	90

2. 研究方法

2-1. 吸着プラズマ分解エレメント

図 A-(1)-1 に吸着プラズマ分解エレメント (以下 プラズマエレメント と略す) の断面図・拡大図・放電状態を示す。プラズマエレメントは、平行平板電極の隙間 (ギャップ) に吸着ハニカムを入れた構造で、バリア方式によってプラズマを発生させる。平行平板電極に吸着ハニカムを入れ、プラズマを発生させる技術は当社独自の技術である(※1)。

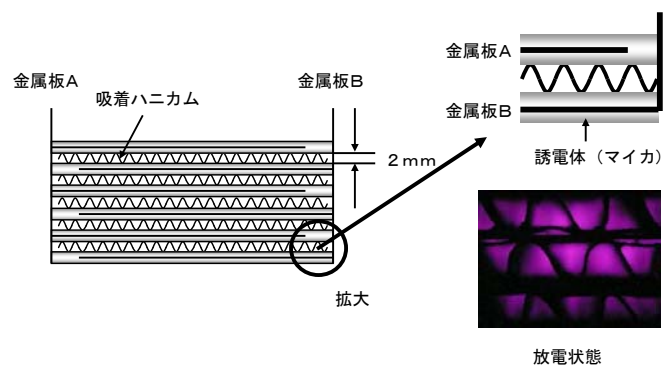


図 A-(1)-1 プラズマエレメント断面図・拡大図・放電状態

(※1) 特開 2002-35157、特開 2004-082097、特開-2006-35157、特開 2007-61712、特開 2008-238145

2-2. 連続式プラズマ分解

2-2-1. メカニズム

図 A-(1)-2 に連続式プラズマ分解のメカニズムを示す。

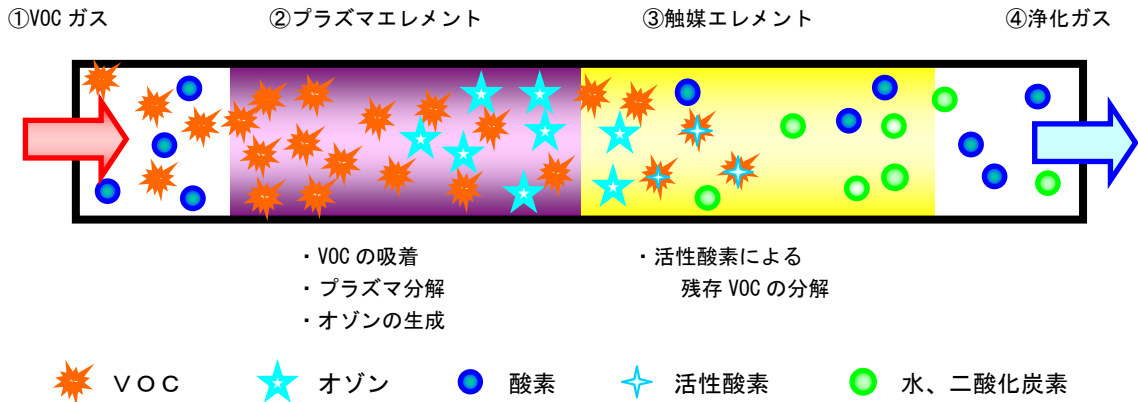


図 A-(1)-2 連続式プラズマ分解メカニズム

①VOC ガス

VOC ガスはプラズマエレメントに吸着する。

②プラズマエレメント

吸着した VOC は、その多くがプラズマによって分解する。一方で、プラズマによってオゾンが副生し、ハニカム内に残存した VOC と混合する。

③触媒エレメント

オゾンは強い酸化力を持つが、オゾンと VOC の接触だけでは、VOC の分解は速くない。そこで、プラズマエレメント出口に触媒エレメントを設置することで、オゾンを強制的に酸素と活性酸素に分解し、この活性酸素を VOC に接触させることで、さらに VOC の分解を促進する。

④浄化ガス

排出ガスは、主に水と二酸化炭素になる。

2-2-2. 試験装置

図 A-(1)-3 に試験装置の概要を示す。

VOC 分解率は次のように求めた。

①プラズマエレメントでの分解率（以下 プラズマ分解率 と略す）

： $((\text{入口濃度} - \text{プラズマ出口濃度}) / \text{入口濃度}) \times 100$

②装置全体での分解率（以下 装置分解率 と略す）

： $((\text{入口濃度} - \text{触媒出口濃度}) / \text{入口濃度}) \times 100$

VOC 濃度は、全炭化水素計（以下 THC と略す）で測定した。未分解 VOC は、ガスクロマトグラフ（以下 GC と略す）で確認した。

風量に応じてプラズマエレメントを交換した。写真 A-(1)-1 にプラズマエレメントを、表

A-(1)-2 にプラズマエレメントのサイズ、開口面積、段数、風量を示す。

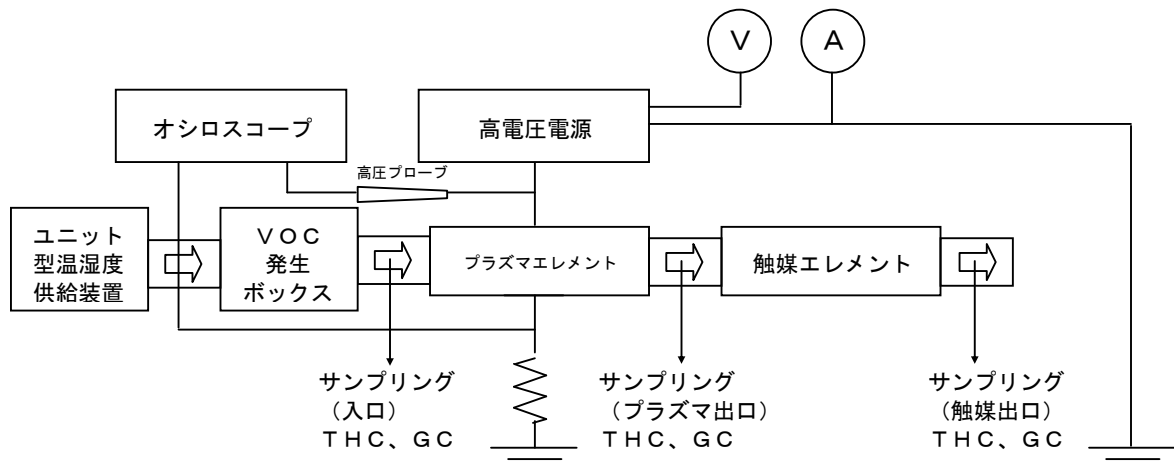


図 A-(1)-3 試験装置概要

表 A-(1)-2 プラズマエレメントのサイズ、開口面積、段数、風量

プラズマエレメント	サイズ (外形) W×L×H (mm)	開口面積 (mm ²) ※1	段数	風量 (m ³ /h)
小型	90×300×57	2000	20	4～10
中型	140×300×87	6000	30	12～30
大型	275×300×317	46800	117	94～234

※1 ギャップ (2mm)・開口幅・段数から計算した。ハニカムの断面積は無視した。

・装置

- THC : HCM-1B ((株) 島津製作所)
- GC : Agilent6890N ((アジレント・テクノロジー (株)))
- オシロスコープ : PCS-3200
((株) ケンウッド ティー・エム・アイ)
- 高圧プローブ : P6015A (Tektronix, Inc.)
- 高電圧電源 : SHVT-150-100 (山菱電機 (株))
- ユニット型温湿度供給装置 : ASE-210 (エスペック (株))

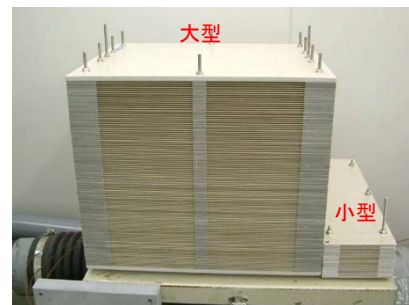


写真 A-(1)-1
プラズマエレメント

3. 研究結果と考察

3-1. プラズマエレメントの最適化

プラズマエレメントを構成する誘電体 (マイカ)、金属板、吸着ハニカムの最適化を検討した。マイカについては、素材と厚さを、吸着ハニカムについては、ハニカム材質、吸着剤、バインダーを検討した。本項では、プラズマエレメントの VOC 分解性能に特に大きな影響を与えるマイカ素材、マイカ板厚さ、吸着剤について記す。

3-1-1. マイカ素材

マイカ素材として、マイカとマイカ接着用樹脂を検討した。マイカは汎用品と特注品を、樹脂は樹脂 A、樹脂 B を用いた。トルエン分解の相対湿度依存性と絶縁破壊強度から最適な

マイカ素材を選択した。

・試験方法及び試験条件

①トルエン分解の相対湿度依存性

試験方法：図 A-(1)-3 に準じる（装置分解率）。

試験条件：9kV、60Hz、6m³/h、25°C、入口濃度 40ppm

小型プラズマエレメント、触媒エレメントあり

②絶縁破壊強度

試験方法：油中破壊電圧測定試験

図 A-(1)-4 にトルエン分解率と相対湿度との関係を示す。マイカ接着用樹脂によってトルエン分解率と相対湿度との関係に差が生じた。プラズマエレメントは、高湿度条件下では、マイカやハニカムに水分が吸着するため、プラズマが発生しにくくなる。そのため、高湿度側ではトルエン分解性能が著しく低下する。吸湿の非常に少ない樹脂 B を使用することで、トルエン分解率の相対湿度依存性が緩和された。

図 A-(1)-5 に絶縁破壊強度を示す。汎用品では、樹脂 A、樹脂 B で絶縁破壊強度に大きな差はなかった。一方、特注品では、絶縁破壊強度が高くなり、特に、樹脂 B では 100kV/mm 以上であった。

プラズマエレメントのマイカ素材として、特注品と樹脂 B を選択した。

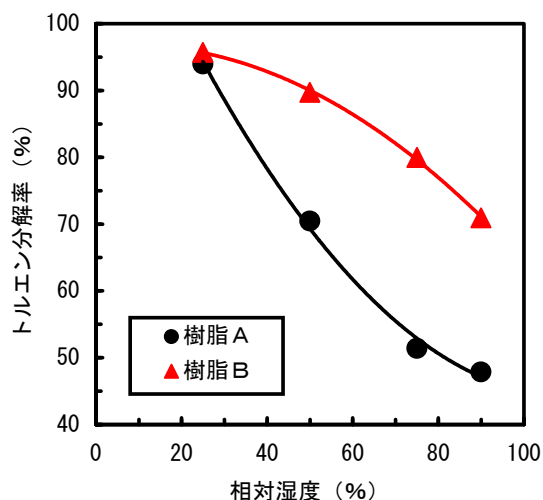


図 A-(1)-4 トルエン分解率と相対湿度との関係

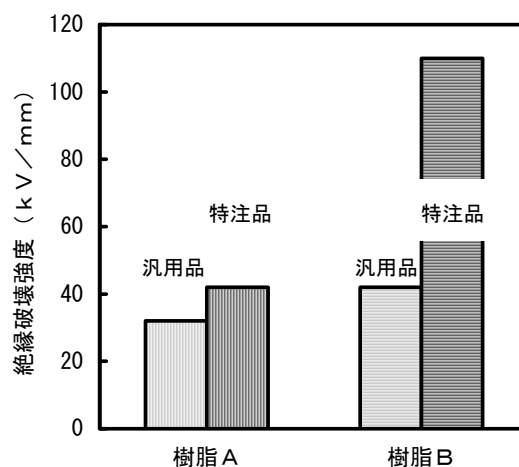


図 A-(1)-5 絶縁破壊強度

3-1-2. マイカ板厚さ

平行平板電極は、金属板の両面をマイカ板で挟み込んだ電極板を積層して構成する。本項ではマイカ板の厚さを検討した。

・試験方法及び試験条件

試験方法：図 A-(1)-3 に準ずる（プラズマ分解率）。

試験条件：9kV、60Hz、25m³/h、25°C、50%RH、

中型プラズマエレメント、触媒エレメントなし

図 A-(1)-6 にトルエン分解率とマイカ板厚さとの関係を示す。なお、マイカ板厚さは、基準厚さを 1.00 としたときの割合で示した。マイカ板を薄くすると、トルエン分解率は上昇した。絶縁破壊強度はマイカ板を薄くすると低下するため、分解率と絶縁破壊強度のバランスの取れたマイカ板厚さを耐久試験、実証試験で確認した。表 A-(1)-3 に市販トランス B を使用した場合の電極板の評価結果を示す。耐久時間は、表 A-(1)-3 に示す段数の電極のうち、何れか 1 段 2 枚が絶縁破壊した時間を示す。予想通り電極板の耐久性はマイカ板厚さに比例する結果になったが、マイカ板厚さ 1.00 でも絶縁破壊を防止できないという結果であった。0.73 の電極板の破壊電圧は 25.2kV であり、試験装置の 2 次電圧は 9kV である。0.73 でも耐電圧に十分余裕があると考えられるが、頻繁に絶縁破壊した。絶縁破壊を生じた状況から分析して、装置停止時の電極への水分の影響と、この試験装置に使用した市販トランス B の出力特性の両方が影響しているのではないかと考えた。この分析結果と、市販トランス A はトランス自体の破損が多いことから、最終的にプラズマ発生用の新トランスの開発を実施、試験した。結果を 3-5 で説明する。

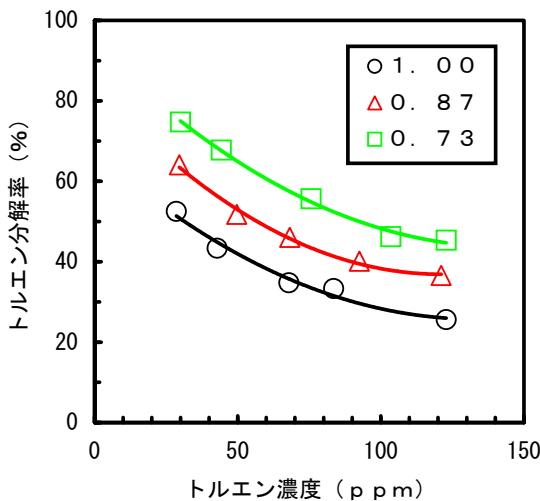


図 A-(1)-6 マイカ板厚さとトルエン分解率との関係

表 A-(1)-3 マイカ板厚さ（基準厚さを 1 とした場合）と電極板の耐久性の関係

マイカ厚（片側）	0.73	0.87	1.00
破壊電圧	25.2kV	31.9kV	34.4kV
電極段数	64 段	80 段	80 段
放電時間	309h	986h	908h
耐久時間	98h 149h 151h	74h 932h	51h
電極板破壊回数	3 回	2 回	1 回

3-1-3. 吸着剤

平行平板電極に吸着ハニカムを入れることで、VOC 分解率が上がることはすでに見出している。本項では、VOC 分解に最適な吸着剤を選定した。

・試験方法、試験条件及び吸着剤

試験方法

図 A-(1)-3 に準ずる（プラズマ分解率）。

試験条件

9kV、60Hz、6m³/h、25°C、
50%RH、入口濃度 40ppm
小型プラズマエレメント、
触媒エレメントなし

吸着剤

疎水性ゼオライト A（疎水性 A）
疎水性ゼオライト B（疎水性 B）
アルミナゲル（アルミナ）
3A ゼオライト（3A）

光触媒

ブランク：吸着剤なし

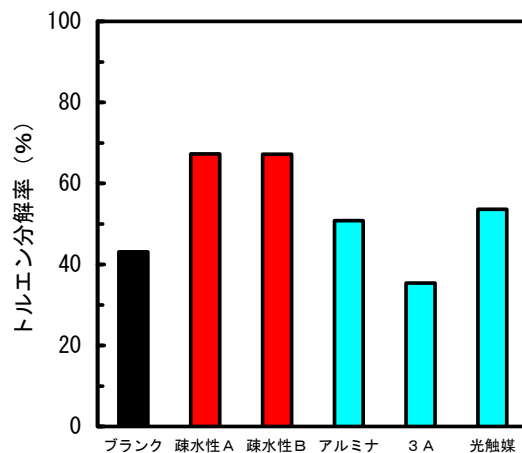


図 A-(1)-7 吸着剤の評価

図 A-(1)-7 に各吸着剤でのトルエン分解率を示す。疎水性ゼオライト A、疎水性ゼオライト B の分解率が最も高い。3A ゼオライトの分解率が最も低いですが、これは、3A ゼオライトが吸湿することと、細孔径がトルエンの分子径よりも小さく、トルエンを吸着できないためと考えられる。アルミナゲルは吸湿によってプラズマの発生が弱くなっていると思われる。光触媒は、放電で生じる紫外線の有効利用を目的に検討したが、効果はなかった。これは、光触媒が触媒機能を発揮する前に、トルエンがプラズマエレメントを通過してしまうためと考えられる。吸着剤として疎水性ゼオライト A、疎水性ゼオライト B を選択した。

3-2. 触媒エレメントの最適化

連続式プラズマ分解では、オゾンを生じることがある。このオゾンは、人体に対して有害であるが、VOC の分解率を向上させる可能性がある。連続式プラズマ分解に対する最適な触媒を選定し、オゾンの処理と VOC 分解率の向上を目指した。

・試験方法、試験条件及び触媒

試験方法

図 A-(1)-3 に準ずる（装置分解率）。

試験条件

9kV、60Hz、6m³/h、
25°C、50%Rh、
入口濃度 40ppm
小型プラズマエレメント、
触媒エレメントあり

・触媒

金属酸化物 A (金属 A)

金属酸化物 B (金属 B)

金属酸化物 C (金属 C)

金属酸化物 D (金属 D)

活性炭 1

活性炭 2

ブランク：触媒なし

プラズマエレメントの後段に触媒エレメントを設置してトルエン分解率を測定した(図 A-(1)-8)。

金属酸化物 A、金属酸化物 B では、トルエン分

解率が向上した。触媒出口のオゾン濃度は日

本産業衛生学会が勧告する許容濃度 0.1ppm 未

満であった。触媒でオゾンを強制的に処理する際、副次的にトルエンの分解反応が進んだと考えられる。

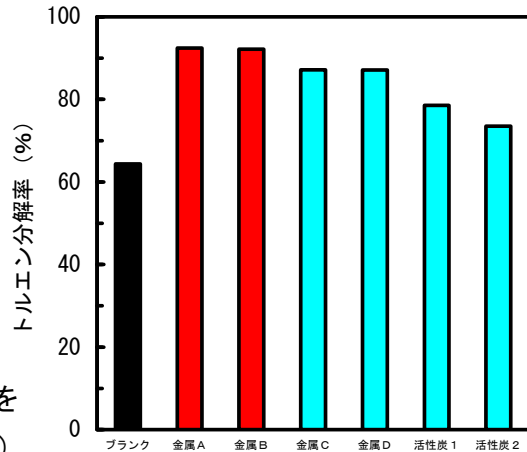


図 A-(1)-8 触媒の評価

3-3. 連続式プラズマ分解での削減対象物質分解試験

最適化したプラズマエレメント、触媒エレメントを用いて、平成 16 年度、平成 17 年度の目標として挙げた削減対象物質の分解試験をした。当初、目標とする VOC 濃度を 50ppm としていたが、市場調査の結果や NEDO 委員からの指摘もあり (※1)、VOC 濃度 250ppm まで試験した。これに準じて、対消費電力も 250ppm まで計算した。

※1 連続式プラズマ分解で処理可能な VOC 濃度を把握すること

3-3-1. 難処理 VOC 分解試験

・試験方法、試験条件

試験方法：図 A-(1)-3 に準ずる (装置分解率)。

試験条件：9kV、60Hz、14m³/h、25°C、50%RH、

中型プラズマエレメント、触媒エレメントあり

※臭化メチルのみ 6m³/h、小型プラズマエレメント

図 A-(1)-9 に分解試験結果を、図 A-(1)-10 に対消費電力を示す。なお、対消費電力はホルムアルデヒド 1g を分解するために必要な消費電力と定義した。ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドは入口濃度 200ppm まで、エチレンオキシドは入口濃度 100ppm まで分解率 90%を維持した。臭化メチルについては、入口濃度 40ppm で分解率 90%であった。入口濃度を高くすると対消費電力が下がった (図 A-(1)-10)。即ち、入口濃度を高くするほど 1g を分解するために必要な消費電力は少なくなった。

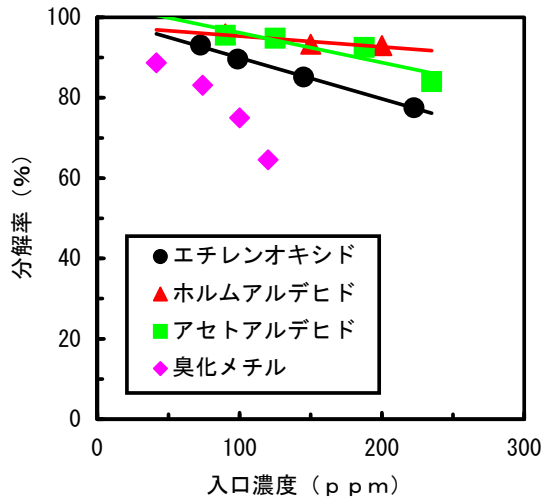


図 A-(1)-9 難処理 VOC 分解試験結果

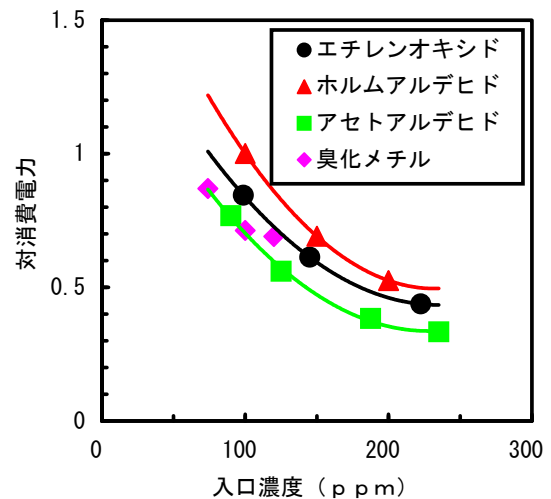


図 A-(1)-10 難処理 VOC 対消費電力

3-3-2. 汎用 VOC 分解試験

・試験方法、試験条件：3-3-1に準ずる。

図 A-(1)-11 に分解試験結果を、図 A-(1)-12 に対消費電力を示す。図 A-(1)-12 の対消費電力は 100ppm のベンゼン 1g を分解するために必要な消費電力量を 1.0 とした場合の相対値である。

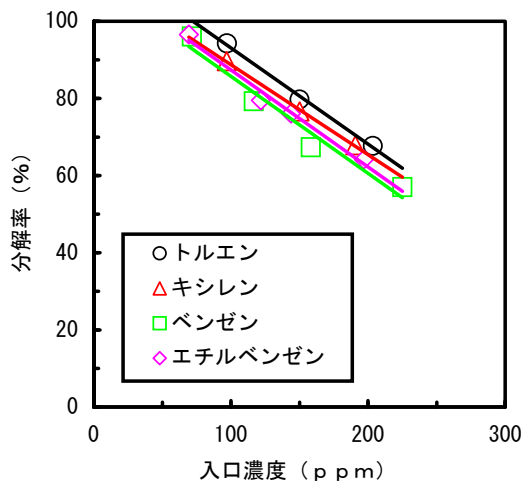


図 A-(1)-11 汎用 VOC 分解試験結果

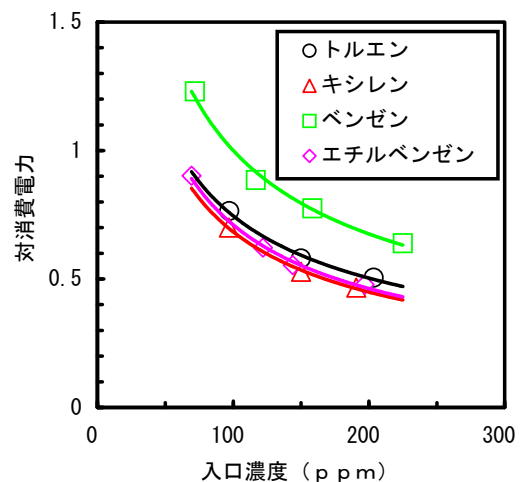


図 A-(1)-12 汎用 VOC 対消費電力

汎用 VOC は入口濃度 100ppm まで分解率 90%前後を維持した。汎用 VOC の分解率は、難処理 VOC に比べて濃度依存性を受けやすい。汎用 VOC の分子量は、難処理 VOC の 2 倍前後であり、分子鎖を破壊するエネルギーが多く必要になるためと考えられる。対消費電力も難処理 VOC 同様に、入口濃度を高くすると下がった (図 A-(1)-12)。ベンゼンの対消費電力が他の汎用 VOC と比べて高いが、これは、ベンゼンの分子量が小さいこと、分解率が低いことが原因である。大気への排出量が多く、装置ニーズが高い汎用 VOC に関しては、連続式プラズマ分解よりも更に高効率分解可能なバッチ式プラズマ分解を検討した。

3-4. 連続式プラズマ分解での耐久試験、実証試験

3-4-1. 1号機耐久試験（写真 A-(1)-2）



写真 A-(1)-2 1号機

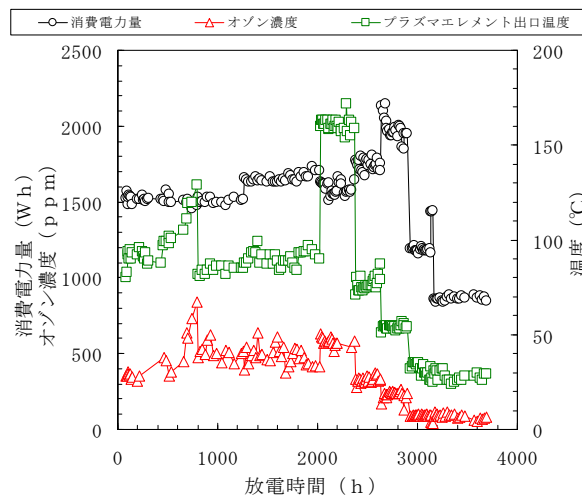


図 A-(1)-13 1号機耐久試験結果

以下、①～④のように、試験条件を変えて耐久試験を行った結果を図 A-(1)-13 に示す。プラズマ分解装置は起動時の負荷が特に高いことから、毎日起動（9:00）、停止（20:00）を繰り返した。

・平成 19 年 7 月 17 日まで 4616 時間運転

①長期耐久試験

放電時間：71～2017 時間

650 時間で電極板が絶縁破壊した。絶縁破壊時に装置が緊急停止（異常ランプ点灯、異常ブザー鳴動、装置停止）したことから、安全シーケンスは正常であることを確認した。絶縁破壊の原因は、電極板の厚みムラであり、これは、電極板製造方法の練成によって改善できる。絶縁破壊しても、プラズマエレメントは分解式であるため、エレメント一式を交換するのではなく、絶縁破壊した電極板 2 枚のみを交換するだけで修理できる。

700～800 時間で風量が低下し、オゾン濃度と出口温度が高くなっているが、入口側に設置しているフィルターが原因と分かり改善した。1222 時間以前は放電のみの消費電力を、1222 時間以降は装置全体の消費電力を測定したため、消費電力が若干高くなっている。

②高温放電試験

放電時間：2032～2366 時間

プラズマエレメント出口温度を 160°C 前後に調整して、安定性及び耐久性を確認した。試験期間中特に問題はなかった。

③低温放電試験

放電時間：2378～2633 時間

プラズマエレメント出口温度を 75℃前後に調整して、安定性及び耐久性を確認した。試験期間中特に問題はなかった。

④高面風速試験

放電時間：2643～4616 時間

プラズマエレメント面風速を③の 2 倍に調整して、さらに電源の出力を 3 回変えて耐久試験を行ったが、安定性など試験期間中特に問題はなかった。

3-4-2. 2号機実証試験

写真 A-(1)-3、4 に 2 号機実証試験状況を示す。接着工場から排出される VOC の一部を、物置内に設置した試験機に引き込んだ。

- ・ 排出 VOC：トルエン、メチルエチルケトン、アセトンの混合物
- ・ 平成 17 年 10 月 11 日：実証試験開始
- ・ 平成 19 年 1 月 11 日まで 4588 時間運転。

設置場所は屋外であり、夏季は日差しとエアコン室外機の排気で周囲温度は 50℃近くになり、電源の市販トランス A が 3271 時間と 3429 時間の 2 回破損した。



写真 A-(1)-3 2号機実証試験



写真 A-(1)-4 2号機

3-4-3. 3号機実証試験

写真 A-(1)-5 に 3 機実証試験状況を示す。研究所の排気を想定し、弊社開発部試験室に試験機を設置した。

- ・ 排出 VOC：トルエン、キシレン、酢酸エチルなど
(主に単独で排出)
- ・ 平成 18 年 2 月 13 日：実証試験開始、
- ・ 平成 19 年 7 月 4 日まで 2494 時間運転

処理空気の絶対湿度は 15g/kgDA 前後の比較的高い湿度であり、その影響で放電が弱くなったため、800 時間以降プラズマエレメ



写真 A-(1)-5
3号機実証試験

ント入口温度を 60℃に加温調整して試験を行った。試験開始 250 時間後に、冷却ファンの故障により市販トランス A の温度が上昇して破損した他は、特に問題は生じなかった。

3-4-4. 4号機実証試験

1~3号機は高圧電源として市販トランス A を用いたが、4号機は大型化し易い市販トランス B を採用している。

写真 A-(1)-6、7 に 4号機実証試験状況を示す。塗装ブースからの排気を想定し、弊社塗装ブースから排出される VOC の一部を、試験機に引き込んだ。

- ・ 排出 VOC：トルエン、キシレン、酢酸エチル、酢酸ブチル、ブチルセロソロブ、ブタノールの混合物
- ・ 平成 18 年 1 月 5 日：実証試験開始
- ・ 平成 19 年 12 月 9 日一時中断中 運転時間 3967 時間

図 A-(1)-14、図 A-(1)-15 に測定結果を示す。ファンの排気風量が一定のため、塗装する対象物の大きさ（塗装作業者のスプレーガンの数）で VOC 濃度は変化する。そのため、測定日によって入口濃度に差が見られた。VOC 分解率は何れの測定日でも 90%以上であった。

4号機は、マイカ板厚さを変えた場合の性能及び耐久性の試験（3-1-2）、及び新電源の開発評価（3-5）に使用した。電極板の改良と新トランスの開発採用により故障を減少させることができたため、引き続き長期耐久試験を実施した。平成 18 年度末までに電極板寿命 1 年以上の実績が確認できたが、平成 19 年 6 月（1 年 5 ヶ月目）に、電極板の絶縁材マイカ板の劣化により、電極板の破損に至ることが確認された。その後平成 19 年 12 月に耐久試験を中断し、電極板長寿命化の対策を検討しているが解決に至っていない。



写真 A-(1)-6 排気ダクトから分取



写真 A-(1)-7 4号機

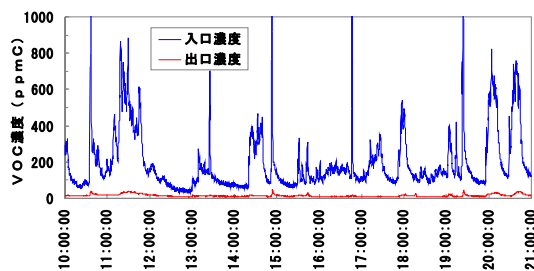


図 A-(1)-14 平成 18 年 2 月 16 日 測定結果

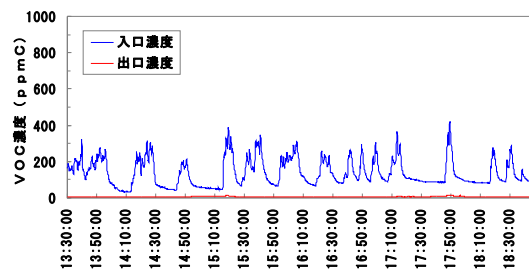


図 A-(1)-15 平成 18 年 1 月 13 日測定結果

3-5 放電トランスの最適化

3-5-1 市販トランス A

小型試験 1 号機から 3 号機まで、高圧電源として市販トランス A を使用している。市販トランス A はプラズマエレメントとマッチングしており、高い力率を示す（力率 0.8 前後）。しかしながら、電源容量を超えた運転となり巻き線温度が上昇することから、冷却ファンを設置して試験を実施した。小型試験 1 号機は室内の試験であったため、トランスのトラブルは発生しなかったが小型試験 2 号機は屋外の実サイトであり、夏季においては周囲温度が 50℃ 近くまで上昇してトランスの表面温度が高くなり、異常停止が頻繁に生じた。3271 時間と 3429 時間の 2 回トランスが破損した。小型試験機 3 号機は室内の試験であるにもかかわらず、冷却ファンの故障によりトランスが破損した。以上の試験結果から、プラズマ電源として市販トランス A を使用することは、耐久性の点から不適と結論した。

3-5-2 市販トランス B

小型試験機 4 号機は市販トランス B を使用した。

市販トランス B は、耐久性が高く破損することはなかったが、力率が -0.415 と悪く、消費電力 2.02kW と低いにもかかわらず、30A 程度の電源が必要になった。また 3-1-2 にて説明したように、市販トランス B の出力特性が瞬時に 9kV を出力するため、電極を破損させる確率が高いことが実証試験で判明した。また、力率改善の目的でリアクトルを組合せて検討したが、力率の改善は出来なかった。以上の結果から、プラズマ電源として電流制御機能を持ち、且つ、力率の良い新トランスの開発が必要であることが分かった。

3-5-3 電源開発

プラズマ用の電源として新トランスを試作開発した。試作したトランスの力率は 0.497 と大幅な遅れ力率を示し、市販トランス B の力率 -0.415 と正負が逆転した。力率改善のため、進相コンデンサを一次側に入れることで力率改善を試みた。その結果力率は 0.497 から 0.898 に改善し、その結果一次側の電流値を 17.5A から 9.0A に低下させることに成功した。またプラズマ分解試験も行い、他の電源と遜色のない性能が得られることを確認した。この新開発トランス（※）を小型試験 4 号機に搭載し、実証試験を継続した。

（※）特開 2007-86858 「ガス処理装置」

3-6. バッチ式プラズマ分解

3-6-1. バッチ式プラズマ分解の原理試験

汎用 VOC 処理は、処理風量が 600m³/h 以上であることが多いため、処理風量と消費電力が比例する連続式プラズマ分解では、ランニングコストに問題が生じてくる。図 A-(1)-12 から、入口濃度を高くすると対消費電力が下がる（分解効率が上がる）ことが分かったため、希薄 VOC を吸着濃縮して VOC を分解するバッチ式プラズマ分解によって、ランニングコストの低減を検討した。図 A-(1)-16 にバッチ式プラズマ分解メカニズムを示す。

①吸着濃縮

VOC ガスはプラズマエレメントの吸着ハニカムに吸着し、浄化ガスとして排出する。

②放電脱着

ダンパを閉じ、系内を密閉する。プラズマエレメントに吸着した VOC は、放電と熱によって脱着する。脱着した VOC は、プラズマエレメントを循環する間に分解する。

③冷却・未分解物再吸着

プラズマエレメントを冷却し、未分解物をプラズマエレメントに再吸着させる。以降、①、②、③を繰り返す。

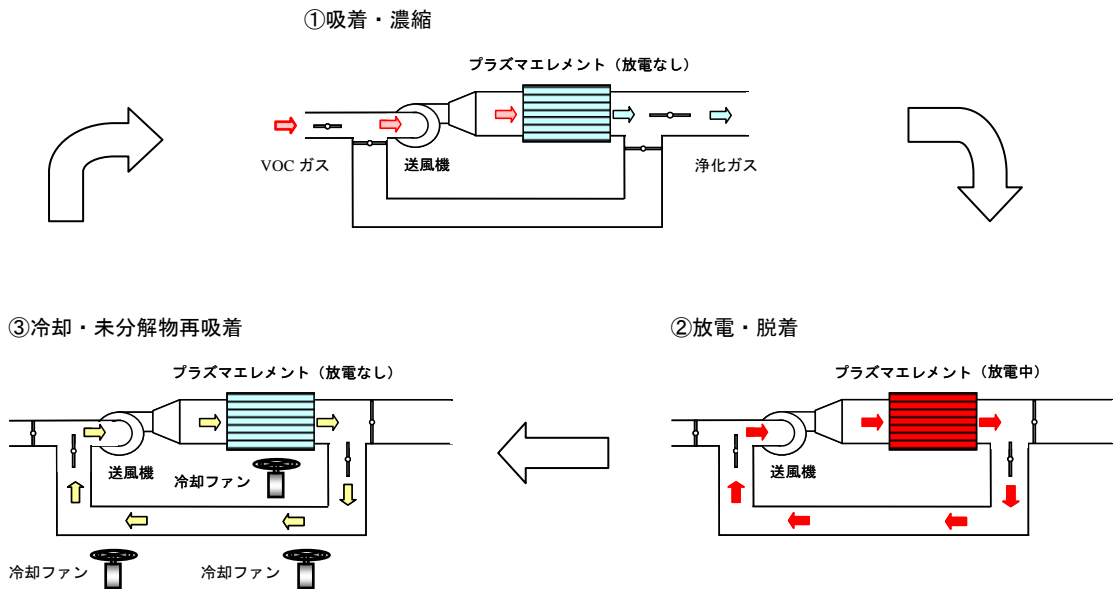


図 A-(1)-16 バッチ式プラズマ分解メカニズム

3-6-2. 試験装置

図 A-(1)-17 に試験装置の概要を示す。

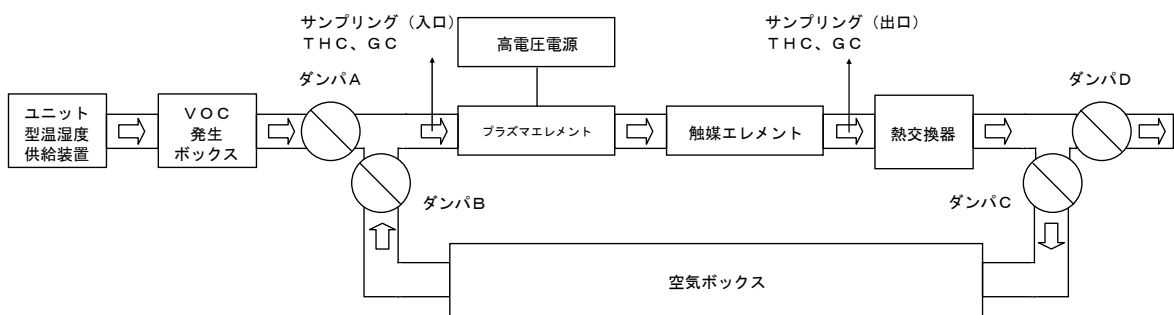


図 A-(1)-17 試験装置概要

①吸着濃縮

ダンパAとダンパDを開け、ダンパBとダンパCを閉じる。サンプリング入口とサンプリング出口のVOC濃度を測定することで、プラズマエレメントでのVOC除去効率のデータを得る。

②放電脱着

ダンパAとダンパDを閉じ、ダンパBとダンパCを開け、循環経路とする。プラズマ

エレメントに高電圧を印加すると、プラズマが発生する。同時に放電と熱によってプラズマエレメントに吸着した VOC が脱着し、循環経路内の VOC 濃度が上昇する。VOC がプラズマエレメント・触媒エレメントを循環する間の VOC 濃度の減少を確認する。

③冷却・未分解物再吸着

循環経路内の VOC が分解して濃度が薄くなると、プラズマによる VOC 分解効率が低下する。そのため、適度な濃度で放電を停止し、冷却して、未分解物を再吸着させる。循環経路内の VOC 濃度の減少を確認する。

ダンパは、自動で切り替わるようにシーケンサで制御した。開閉を瞬時に行なうため、エアシリンダを使用した。本研究でのシーケンスは次の通りである。

吸着濃縮 40 分、放電脱着 30 分、冷却・未分解物再吸着 10 分

このシーケンスが自動化できれば、バッチ式プラズマ分解システムを並列にすることで、VOC の連続処理が可能となる。

・装置（連続式プラズマ分解と重複するものは除く）

高電圧電源：YT-6.6kV-15k（細田電機（株））

ダンパ：高気密ダンパ KSD33-HM（クリフ（株））

シーケンサ：20C1AR-A-V1（オムロン（株））

3-6-3. バッチ式プラズマ分解試験

・試験方法及び試験条件

試験方法：3-6-2 に準じる。

試験条件：吸着（40 分）：165m³/h、25℃、50%RH、

入口濃度 100ppm、大型プラズマエレメント、
触媒エレメントあり

放電（30 分）：9kV、60Hz、165m³/h

冷却（10 分）：熱交換器（直交）で強制冷却

図 A-(1)-18 にベンゼンの測定結果を示す。

<1 回目 ①>、<2 回目 ②>、<3 回目 ③>・・・と<9 回目 ⑨>までバッチ処理運転を繰り返し、9 回目の除去率も 90%を維持していることから、バッチ式プラズマ分解システムを並列にすることで、VOC の連続処理が可能であることを確認した。

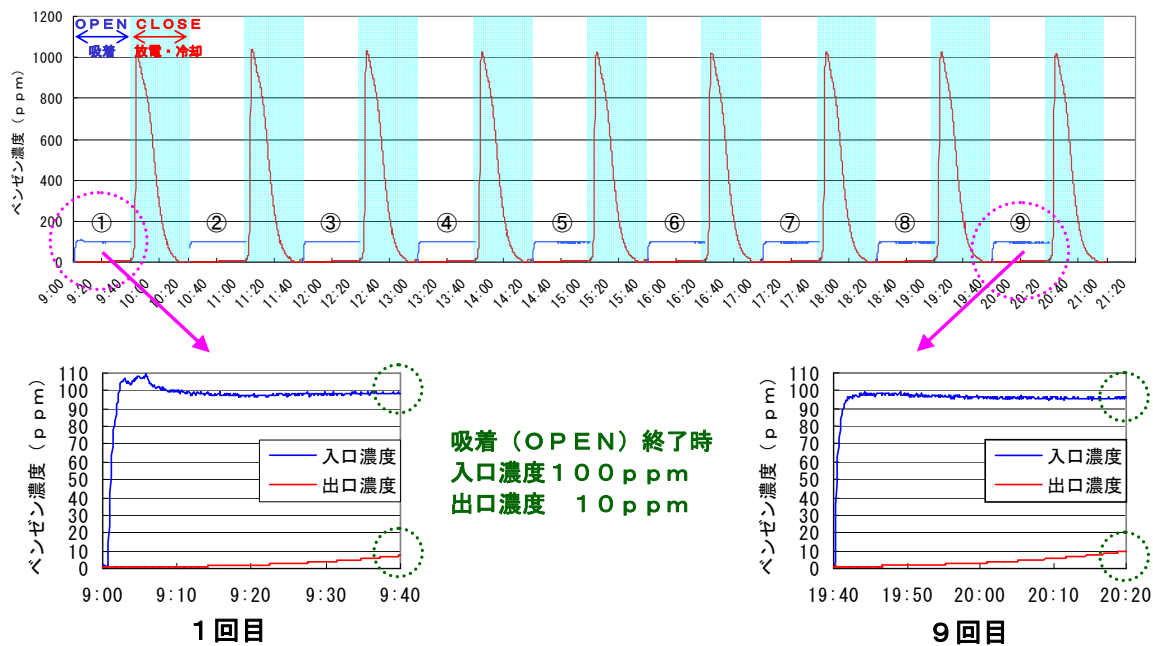


図 A-(1)-18 バッチ式プラズマ分解 (ベンゼン)

表 A-(1)-4 連続式プラズマ分解、バッチ式プラズマ分解での除去率と対消費電力

VOC 濃度 : 100ppm

濃度 (100ppm)	連続式	バッチ式	
	除去率 (%)	除去率 (%)	対消費電力 (バッチ式/連続式)
トルエン	94	91	1 / 3
キシレン	89	93	
ベンゼン	85	96	
エチルベンゼン	87	93	

トルエン、キシレン、エチルベンゼンについても図 A-(1)-18 と同様の試験で、性能を確認した。

バッチ式プラズマ分解でのベンゼンの除去率は次のように計算した。

除去率 =

$$\left(\text{吸着時の平均入口濃度} - \text{吸着時の平均出口濃度} \right) / \text{吸着時の平均入口濃度} \times 100$$

表 A-(1)-4 に汎用 VOC の連続式プラズマ分解、バッチ式プラズマ分解での除去率と対消費電力を示す。バッチ式プラズマ分解では、除去率 90% 以上、対消費電力が連続式プラズマ分解の 3 分の 1 となった。

3-6-4. バッチ式プラズマ分解の最適化検討

バッチ式プラズマ分解方式の最適化条件を検討した

(1) 水分の影響

バッチ式プラズマ分解で VOC を分解すると、分解により発生した水蒸気により分解経路内が高湿度になる。この水蒸気の影響で VOC の吸着性能が悪くなることが確認された。また電極の絶縁性や装置全体の耐久性にも悪影響を与えることが懸念された為、分解経路内に熱交換器を設置して、VOC の分解により発生する水蒸気を熱交換器で冷却凝縮させて、経路外に排出させるようにした。これにより安定的に連続処理することが可能になった。

(2) 触媒による分解性能の向上

連続式プラズマ分解にて、図 A-(1)-17 に示すように、触媒の組合せによる分解性能向上効果を確認している。バッチ式プラズマ分解においても、触媒により分解性能を向上させることを試みた。その結果触媒を組合せることで、触媒無しの場合の2分の1のバッチ回数で分解することが可能になった。またプラズマ分解処理風速は遅くする方が、分解性能が向上することが分かった。

(3) 分解時の装置内温度制御による性能向上

触媒による分解性能の向上について試験検討する中で、プラズマ分解中に分解経路内の温度を高く保つことで分解性能が向上する傾向が見られた。そこで試験装置の構成機器、配管、送風機、熱交換器等を、耐熱仕様の汎用品に交換改良して、分解時の温度を高くして分解試験を行ったところ、IPA 分解性能は飛躍的に向上させることができた。図 A-(1)-19 に最適化前の分解性能を、図 A-(1)-20 に最適化後の分解性能を示す。分解時のピーク濃度はほぼ同じながら、ピーク時間が少なく、分解速度が上がっていることが分かる。最適化後は、プラズマ分解時間を3分の1に短縮しているが、分解性能は維持できている。

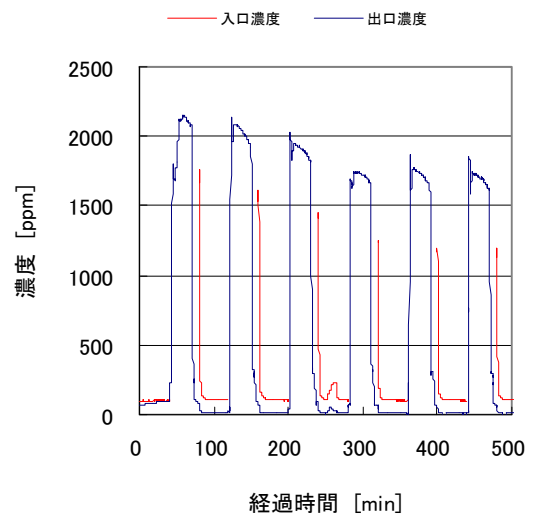


図 A-(1)-19 最適化前の分解性能

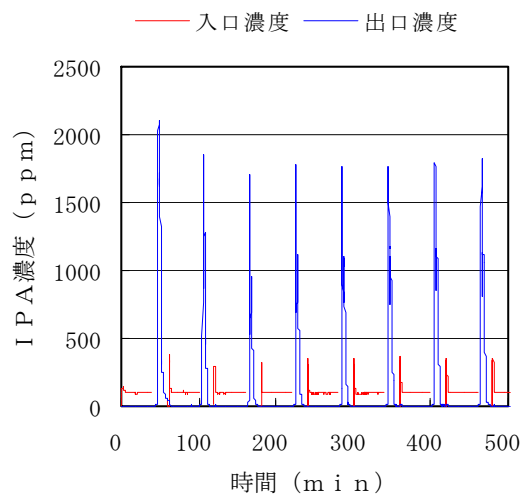


図 A-(1)-20 最適化後の分解性能

3-7. 市場調査・市場動向

3-7-1. 展示会

連続式プラズマ分解装置を展示会に出展し、市場の反応を調査した。

①SEMICON Taiwan

平成 17 年 9 月 12 日～ 9 月 14 日

②INCHEM TOKYO 2005

(写真 A-(1)-8)

平成 17 年 11 月 15 日～11 月 18 日

目的：日本での VOC 処理のニーズを把握する。ユーザーの来客データから、有望顧客のフォローを実施し、装置開発・製品設計に役立たせることを目的に出展した。

結果：来場者 212 名（名刺数）

意見・要望

- ・局所排気や断続的に排出する VOC の除去に
- ・研究所から排出する VOC 処理に
- ・都心では燃焼器を設置しにくいいためその代替に など

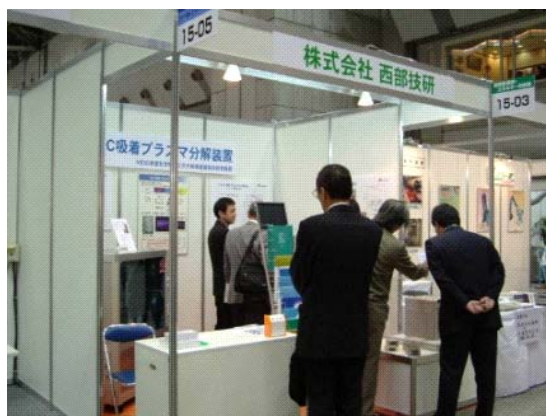


写真 A-(1)-8

INCHEM TOKYO

3-7-2. エコケミカルシンポジウム

本研究開発を NEDO 主催の第 1 回エコケミカルシンポジウムで発表し、ユーザーからの反応を調査した。

INCHEM TOKYO 2005 に来場したユーザーに事前に案内を出していたこともあり、シンポジウム終了後、問い合わせがあった。技術的な問い合わせだけでなく、実証試験先の提供など、装置開発、設計にフィードバックできる具体的な話もあった。

3-7-3. 難処理 VOC の市場調査、市場動向

エチレンオキシド、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドの排出源を調査し、装置の適合性を判断した。

表 A-(1)-5 に平成 15 年度 PRTR 届出排出量（大気のみ）、届出外排出量（家庭・移動体を除く）を示す。また、図 A-(1)-21 に業界別排出割合を示す。

表 A-(1)-5 平成 15 年度 PRTR 届出排出量（大気のみ）、
届出外排出量（家庭・移動体を除く）

	届出排出量 (t)	届出外排出量 (t)	合計 (t)
エチレンオキシド	245	236	491
ホルムアルデヒド	383	252	635
アセトアルデヒド	111	66	177

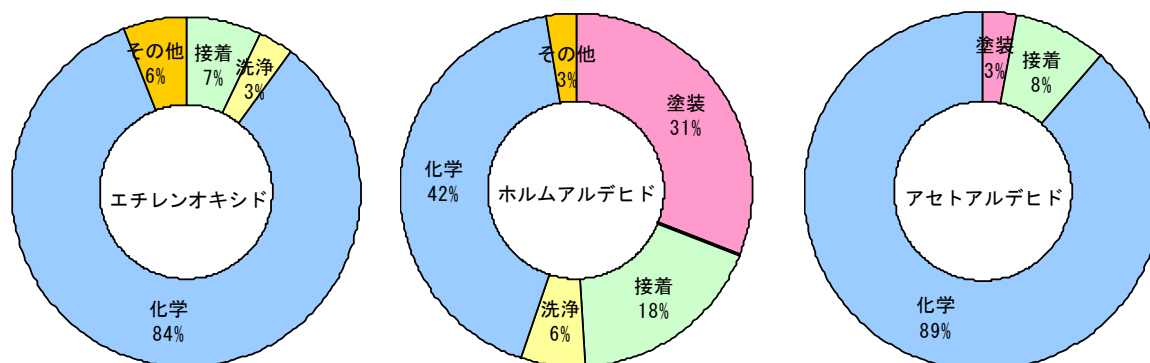


図 A-(1)-21 難処理 VOC 業界別排出割合

エチレンオキシドは大部分が病院・滅菌代行業（化学業界）から、単独で排出される。一方、ホルムアルデヒドやアセトアルデヒドは、他の VOC と混合した状態で排出される。都市部で主に排出され、かつ、有害性の極めて高いエチレンオキシドにターゲットを絞り、調査を進めた。

エチレンオキシド滅菌器は、加熱滅菌できないプラスチックや医療器具の滅菌に使用される。滅菌器は、平成元年から平成 13 年まで 2 万台近く出荷されているが、エチレンオキシド処理装置の導入は、環境確保条例によって義務づけられている東京都下の病院を除いて進んでいない。

滅菌処理は、滅菌器に 10~30%のエチレンオキシドを加え、100%に近い相対湿度条件下で行う。処理後、エチレンオキシドは大気放出される。エチレンオキシドを処理する場合は滅菌器の後に処理装置（触媒燃焼装置）を設置する。

エチレンオキシドは、図 A-(1)-10 に示すように、連続式プラズマ分解で処理可能である。一方で、NEDO から委託された三菱総研の調査では、ガス滅菌装置の市場は年間 80 台程度と小さいこと、既参入業者もある（既存権益も大きい）ことから、新規参入には苦戦が予想されるとの報告もある。弊社で開発の方向性を検討した結果、エチレンオキシドに関しては、優勢順位を下げ、汎用 VOC の処理を中心に開発を進めることにした。

3-7-4. 汎用 VOC の市場調査、市場動向

トルエン、キシレン、ベンゼン、エチルベンゼンの排出源を調査し、装置の適合性を判断した。

表 A-(1)-6 に平成 15 年度 PRTR 届出排出量（大気のみ）、届出外排出量（家庭・移動体を除

く)を示す。また、図 A-(1)-22 に業界別排出割合を示す。

トルエンは、各業界で排出されている。一方、キシレン、エチルベンゼンは塗装業界、ベンゼンは化学業界での排出が目立つ。汎用 VOC は単独で排出されることがほとんどないので、排出源に対する吸着プラズマ分解装置の適合性は、実証試験で判断することになる。

表 A-(1)-6 平成 15 年度 PRTR 届出排出量（大気のみ）、
届出外排出量（家庭・移動体を除く）

	届出排出量 (t)	届出外排出量 (t)	合計 (t)
トルエン	118772	31387	150159
キシレン	48043	41792	89835
ベンゼン	1377	9593	10970
エチルベンゼン	12673	10838	23511

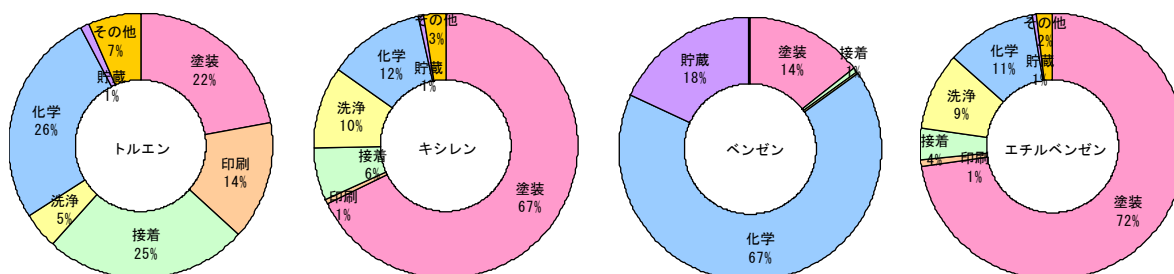


図 A-(1)-22 汎用 VOC 業界別排出割合

図 A-(1)-23 に各 VOC 処理方式の適用範囲を示す。これまでの試験結果から、吸着プラズマ分解装置の適用範囲は VOC 濃度 250ppm 以下、処理風量 1200m³/h 以下である。図 A-(1)-24 に業界別の VOC 濃度と処理風量を示す。塗装・印刷業界が適用範囲になることから、これら業界のヒアリングをした。環境省「中小企業者向け VOC 脱臭処理装置のニーズに関するアンケート調査結果報告書」調査結果のまとめを下記に示す（工業塗装編：表 A-(1)-7、スクリーン印刷編：表 A-(1)-8）

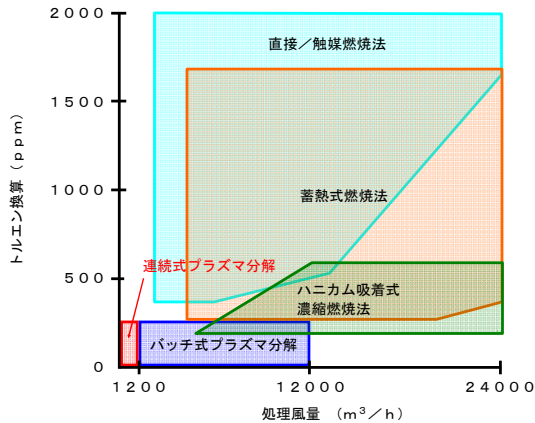


図 A-(1)-23 各 VOC 処理方式の適用範囲

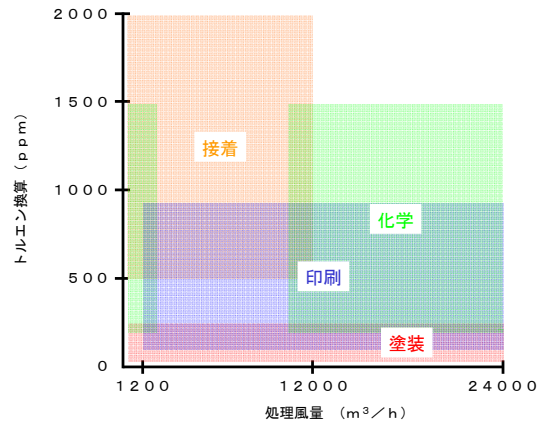


図 A-(1)-24 業界別の VOC 濃度と処理風量

①塗装業界（日本工業塗装協同組合連合会 岡田理事長ヒアリング）

- ・屋外塗装を水性化することで3割削減を見込む
- ・悪臭苦情は増加傾向であり対策必要
特に自動車板金関係で対策必要
- ・自動車板金関係は全国で2万事業所
- ・小風量の目安 7200m³/h
- ・塗装業界：組織率が3割程度で、業界としてまとまってない

②印刷業界

a. スクリーン印刷

（全日本スクリーン印刷協同組合連合会 吉野事務局長ヒアリング）

- ・会員数 224 社のうち、東京 71 社、埼玉 30 社、大阪 26 社と、大都市に集中
- ・印刷材料は鉄、布、プラスチック等多様でインク及び排出濃度も様々
ex. 局所排気濃度 50~150ppmc
- ・導入可能な処理装置の大きさ：単身赴任者用の冷蔵庫程度
- ・スクリーン印刷は水性化困難
- ・スクリーン印刷機：400 万円／台程度
処理装置：200 万円以下を希望

b. グラビア印刷（全国グラビア協同組合連合会 川田理事長ヒアリング）

- ・印刷機 1 台からの風量は 12000m³/h 程度

表 A-(1)-7 塗装業界での処理装置に対するニーズ

本体床面積 (m ²)	~ 3. 3
設置場所	屋上・地上・屋内
発生源	塗装ブース・乾燥炉
処理風量 (m ³ /h)	9 6 0 0 (1 ブースあたり) 7 8 0 ~ 1 8 0 0 (1 炉あたり) 3 7 8 0 0 (1 工場あたり)
本体価格 (万円)	~ 3 0 0
運転費用 (万円)	~ 4 0

環境省 中小企業者向け VOC 脱臭処理装置のニーズに関するアンケート調査結果報告書 工業塗装編 2006.1

表 A-(1)-8 印刷業界（スクリーン印刷）での処理装置に対するニーズ

本体床面積 (m ²)	~ 4
設置場所	屋上・地上・屋内
発生源	印刷機・乾燥炉
処理風量 (m ³ /h)	2 7 0 0 (1 印刷機あたり) 1 8 0 ~ 2 4 0 (1 炉あたり) 1 9 2 0 0 (1 工場あたり)
本体価格 (円)	~ 1 5 0
運転費用 (円/年)	~ 2 9

環境省 中小企業者向け VOC 脱臭処理装置のニーズに関するアンケート調査結果報告書 スクリーン印刷編 2006.1

- ・ 排出 VOC は、500ppm 前後（トルエン、酢酸エチル、MEK、IPA の合計）
 - ・ 自主的取り組みでの装置の除去率 80%を希望
- VOC 濃度・風量等を考慮して、ハニカム吸着式濃縮燃焼法が適していると判断した。

3-7-5. 東京都環境局 VOC 処理装置技術評価事業

東京都環境局 VOC 処理装置技術評価事業に応募した。東京都職員立会いのもと弊社塗装ブースに設置した 4 号機を使用して実証試験をした。環境省発行パンフレット「VOC 脱臭処理技術評価ガイド」に公開された。

3-8. VOC 削減量

表 A-(1)-9 に吸着プラズマ分解装置の適用範囲から考えられる VOC 削減量を示す。除去率は 90%で計算した。塗装業界、化学業界での削減が期待できる。削減量が大きいと考えられる化学業界については、調査不足であるため、今後の課題とする。

表 A-(1)-9 吸着プラズマ分解での VOC 削減量 単位：トン

	塗装	印刷	接着	化学	計
エチレンオキシド				264	264
ホルムアルデヒド	3			37	40
アセトアルデヒド				21	21
トルエン	2788	694	356	3496	7334
キシレン	2408		51		2459
ベンゼン	27			987	1014
エチルベンゼン	300	5	1	349	655
削減対象外 VOC	2787	1118	288	13109	17302
合計	8313	1817	696	18263	29089

3-9. 出願特許の有効性

VOC プラズマ分解に関連する特許は、1986 年から 2003 年まで 103 件出願されている（2003 年時点の調査）。出願人は多岐に渡るが、ここ数年は、キヤノン、ダイキン、三菱電機、産総研の出願が目立つ。数 ppm の臭気分解用途として既に装置販売している日新電機、タクマなどでは、装置改良やメンテナンスなどの特許を追加出願しているだけである。

弊社の出願特許、特願 2000-325083、特願 2004-221510、特願 2005-249847、特願 2007-086858 の 4 件が現在審査中である。

3-10. 現行品、競合品とのコスト比較・試算等

吸着プラズマ分解装置の適用範囲と競合する現行品とのコスト比較のため、イニシャルコスト、ランニングコストプログラムを作成して比較した。現行品として、直接燃焼装置、触

媒燃焼装置、蓄熱燃焼装置及び、これらにVOC濃縮装置を組み合わせたVOC濃縮燃焼装置のプログラムを作成した。パラメータは、処理風量、処理空気温度、処理VOC濃度、処理VOCの種類、運転時間、電気料金、LPG料金などとした。イニシャルコストを表A-(1)-7、表A-(1)-8のニーズにできるだけ近づけるため、イニシャルコストプログラムのコストアップ要因を追及していく。ランニングコストについては、吸着プラズマ分解は100ppm未満のVOCで優位性があることを確認した。一例を図A-(1)-25に示す。

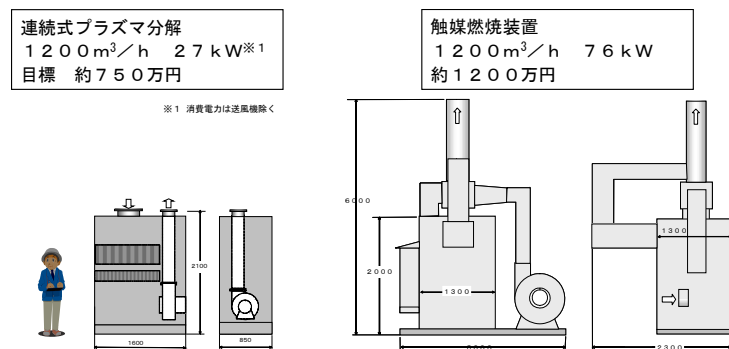


図 A-(1)-25 1200m³/h クラス 処理装置比較

4. 結言

4-1. まとめ

- I. 連続式プラズマ分解によって、100ppmのエチレンオキシド、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、40ppmの臭化メチルで90%以上の分解率を達成した(目標50ppm、90%以上)。
- II. 連続式プラズマ分解によって、100ppmのトルエン、キシレン、ベンゼン、エチルベンゼンで90%前後の分解率を達成した(目標50ppm、90%以上)。
- III. バッチ式プラズマ分解によって、100ppmのトルエン、キシレン、ベンゼン、エチルベンゼンで90%以上の除去率、連続式プラズマ分解の3分の1の対消費電力を達成した。
- IV. 接着工場、塗装ブース、研究所(を想定した排気)に実証試験機を設置し、実サイトでのVOC分解性能を確認した。
- V. 平成17年11月、INCHEM TOKYO 2005に出展し、ユーザーから多くの意見・要望を得た。
- VI. 平成18年1月、東京都環境局による実証試験を実施した。
- VII. 小型試験機による長期実証耐久試験の結果、プラズマ発生用トランスとして、市販トランスAはトランス自体の耐久性に問題があり採用できないことが分かった。
- VIII. 市販トランスBは、耐久性は高いが力率が悪く、電流特性が悪いため1.5倍の電流値の一次電源が必要になる。また電極を破損させ易いため製品には使用できないことが分かった。
- IX. 新トランスを開発試作して耐久試験をした結果、トランスの破損は無くなり、電極の破損も少なくすることができた。また市販トランスBと比較して、一次電流を半分以下に下げることができた。
- X. 電極板の改良と新トランスの開発採用により故障が減少し、信頼性が向上した。
- XI. 電極板寿命1年以上の実績が確認できたが、電極板の絶縁材マイカの劣化により、1年5ヶ月目には電極板の破損に至ることが確認された。この対策を検討している。
- XII. バッチ式プラズマ分解装置の最適化による性能向上を進め、VOCのプラズマ分解で生成する水蒸気による悪影響を解決する方法を確立した。
- XIII. 触媒との組み合わせ及び、分解経路の分解中の温度を高く制御することでバッチ式プラ

ズマ分解装置の分解性能を高めることができた。

4-2. 実用化の見通し

VOC 排出量は少ないが、住居などの生活環境に排出源が隣接する悪臭の苦情対策をターゲットと考えている。

- (1) 平成 20 年 3 月より医療現場におけるホルムアルデヒド規制が強化されたが、吸着プラズマ分解装置はこのような低濃度でも有害性の高い VOC の除去に優位性がある。現在市場調査を実施し、この種用途向け製品化の可能性を検討している。
- (2) 小規模印刷事業所（スクリーン印刷）、自動車板金工場などは、都市型 VOC の代表的な発生源である。このような事業所は法規制の対象外である為 VOC 排出量削減目的のみでは投資は望めない。そこで、過大な排気（省エネに反する）によることなく工場内 VOC 濃度を効率的削減できる空気清浄機が実現できれば、従業員の健康管理と省エネが保て、（ついでに）VOC 排出量が削減できる装置としてこれら小規模事業所のニーズを引き出せる可能性がある。

4-3. 今後の展開

平成 21 年度

- ・電極板の改良開発、耐熱性向上、長寿命化の検討。
- ・改良電極板が試作できれば分解性能、耐久性を確認する。
- ・医療機関向けホルムアルデヒド対策市場調査中。実証試験検討。

平成 22 年度以降

- ・医療機関向けホルムアルデヒド対策装置の試験販売。
台数限定で、初期リスク（クレーム、リコール）を抑える。
市場からのフィードバック、改良。

4-4. 成果のまとめ

(1) 平成16年度

発表状況			
発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2004年 9月 18-19日	第18回日本吸着学会研究発表会	希薄揮発性有機化合物の吸着・濃縮・プラズマ分解技術について	井上宏志・山田健一郎 岡野浩志・村岡克紀 山形幸彦
2004年 9月 27-28日	第57回電気関係学会九州支部連合大会	大気圧バリア放電とゼオライト濃縮過程の組み合わせによる揮発性有機物の分解 (II)	三角和宏・仁保航一郎 山形幸彦・村岡克紀 井上宏志・岡野浩志
特許			
出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2004年 7月29日	特願2004-221510号	有害ガス処理装置およびそのクリーニング方法	(株) 西部技研
新聞報道			
発表年月日		発表媒体	
2004年7月30日		日刊工業新聞	

(2) 平成17年度

発表状況			
発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2005年 6月10日	平成17年度PRTRデータ活用セミナー	【講演】 VOC排出対策技術	田中康弘
2005年 7月20日	空気汚染抑制新技術講演会【台湾】	【講演】 VOC吸着プラズマ分解技術	岡野浩志
2005年 9月 29-30日	第19回日本吸着学会研究発表会	希薄揮発性有機化合物の吸着・プラズマ分解技術について	井上宏志・岡野浩志 石塚史成・古木啓明 村岡克紀・山形幸彦
2005年 9月 29-30日	第58回電気関係学会九州支部連合大会	大気圧バリア放電とゼオライト濃縮過程の組み合わせによる揮発性有機物の分解 (III)	仁保航一郎・城野寿文 山形幸彦・村岡克紀 井上宏志・岡野浩志
2006年 1月 24-27日	<i>6th International Conference on Reactive Plasmas and 23rd Symposium on Plasma Processing</i>	Decomposition of Volatile Organic Compounds at Low Concentration Using a Combination of Densification by Zeolite Adsorption with Dielectric Barrier Discharge	Yukihiko Yamagata, Kouichiro Niho, Kouji Inoue, Hiroshi Okano, Katsunori Muraoka

2006年 3月 28-30日	化学工学会第71年 会	VOCの吸着プラズマ分解技術につ いて	岡野浩志・井上宏志 古木啓明・石塚史成 村岡克紀・山形幸彦
掲載論文			
発表年	発表媒体	発表タイトル	発表者
2006年	環境浄化技術、 2006. 2、Vol. 5、 No. 2、39	VOC吸着プラズマ分解技術	(株)西部技研 岡野浩志
2006年	工業材料、 2006. 3、Vol. 54、 No. 3、50-54	VOC 排出対策技術ーハニカム吸 着式による 濃縮燃焼法と吸着プラズマ分解 装置	(株)西部技研 田中康弘
特許			
出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2005年 8月30日	特願2005-249847	有害ガス処理装置	(株)西部技研
新聞報道			
発表年月日		発表媒体	
2005年11月4日		日刊工業新聞	

(3) 平成18年度

発表状況			
発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2006年 6月	分離技術会年会 2006	「VOC 吸着プラズマ分解装置の 開発」	岡野、井上、古木、村 岡、山形
2006年 11月	VOC対策 - 法規制の 課題・その処理技術 : 講演&展示 化学工学会 関西支部	【講演】 VOC濃縮装置とその技術を応用し た吸着プラズマ分解装置の開発	岡野
2006年 11月	揮発性有機化合物 (VOC) 排出規制と 除去技術 日本空気清浄協会	【講演】 VOC濃縮装置 (VOC吸着プラズマ分解装置)	岡野
掲載論文			
発表年	発表媒体	発表タイトル	発表者
2006年	クリーンテクノロ	VOC 吸着プラズマ分解装置	(株)西部技研

	ジー、 2006. 5		岡野浩志
2006年	環境管理 2006. 7	VOC 吸着プラズマ分解装置開発 概要と実証	(株) 西部技研 岡野浩志
2006年	<i>Japanese Journal of Applied Physics</i> Vol.45, No.10B	Decomposition of Volatile Organic Compounds at Low Concentration Using a Combination of Densification by Zeolite Adsorption with Dielectric Barrier Discharge	Yukihiko Yamagata, Kouichiro Niho, Kouji Inoue, Hiroshi Okano, Katsunori Muraoka
特許			
出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2007年 3月29日	特願2007-86858号	ガス処理装置	(株)西部技研

(4) 平成 19 年度

発表状況			
発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2007年 6月	分離技術会年会 2007	「VOC 吸着プラズマ分解装置の 開発」	岡野、井上、古木、 村岡、山形
2007年 8月	第35回夏季研究討 論会	【講演】 VOC吸着プラズマ分解装置の開発	岡野
2007年 9月	化学工学会第39回 秋季大会	VOC吸着プラズマ分解装置の開発	岡野、井上、古木、 村岡、山形
掲載論文			
発表年	発表媒体	発表タイトル	発表者
2007年	電気学会論文誌 A 2007. 6	ゼオライトハニカムとバリア放 電組合せによる VOC 処理システ ムの開発	井上、古木、岡野、 山形、村岡

(5) 平成 21 年度

掲載論文			
発表年	発表媒体	発表タイトル	発表者
2009年	化学工学会論文誌 投稿中	「吸着ハニカムとプラズマを組み合わせたバッチ式吸着濃縮プラズマ分解による希薄揮発性有機化合物の除去」	井上、古木、岡野、山形、村岡、寺岡
特許			
出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
	出願準備中	有機ガス処理装置	(株)西部技研

2-A-(2) 直接加熱式 VOC 吸着回収装置の研究開発

プロジェクトリーダー：ダイキン工業株式会社 執行役員 井原清彦
実施企業 エンバイロメント・テクノロジー・ベンチャーズ株式会社
独立行政法人 産業技術総合研究所

1. はじめに

有機溶剤などに代表される揮発性有機化合物（VOC）は、それ自体の有害性・発がん性の指摘に加え、大気汚染の2つの大きな原因物質である、浮遊粒子状物質と光化学オキシダント、両方の生成への関与の可能性が指摘され、平成16年の大気汚染防止法改正でVOC排出規制が強化され、有効なVOC対策技術の確立は急務となっている。

VOCの処理方法としては「分解」と「回収（再利用）」の2つの方法が考えられるが、工業洗浄分野等で排出されるVOCは高濃度で単一成分であるため「回収」が容易であり、回収されたVOC（溶剤）の再利用に有利である。それにより、『溶剤にかかる経費の大幅なコストダウン』という、回収装置導入によるコストメリットが生まれる。また、リサイクル（省資源）という観点、あるいは『分解』によるCO₂の排出に比べて、溶剤の『回収（再利用）』は、地球温暖化対策においても環境面で望ましい。

ところが、現状のVOC吸着回収装置のほとんどは大手企業向けの大型のものである。例えば、吸着剤の再生（VOCの脱離）にスチーム加熱を用いる一般的な回収装置では、蒸気ボイラーの導入・管理もさることながら、回収装置から大量に発生するスチーム凝縮水の排水処理装置の導入・管理が必要となる。特に、中小企業にとって、排ガスあるいは排水などの環境基準管理や、労働環境管理に関する人的・設備的なコストが非常に大きな負担となっているという側面がある。

本研究開発では、トルエンなどの代替溶剤として増加している水溶性溶剤の回収を含めて、多種多様な回収ニーズに対応できる高機能・高効率な回収装置でありながら、中小企業でも導入可能な小型・低価格化により、VOCの「回収（再利用）」によるコストメリットを生み出し、さらに環境管理の負担をも軽減できる、VOC吸着回収装置を実現するために必要な技術開発を行った。この目標を達成するために、吸着剤の再生に際してスチームを使わずに、繊維状活性炭の通電加熱など吸着剤を電磁場エネルギーで直接加熱する方式の吸着回収装置の開発を行った。さらに、モニタリング技術を統合することによって維持し易くかつ安全な吸着回収装置として広範な普及をめざす。

本研究開発は、エンバイロメント・テクノロジー・ベンチャーズ(株)と産業技術総合研究所が、共同で吸着回収装置の技術開発を行った。また、モニタリング技術に関しては、東京大学（大学院新領域創生科学研究科・柳沢教授）に、エンバイロメント・テクノロジー・ベンチャーズ(株)から研究再委託にて実施した。

2. 研究開発方法

1) 吸着回収装置

VOCには大きく分けて、トリクロロエチレンなどの不燃性と、トルエンなどの可燃性VOCがある。不燃性VOCは、一般に値段が高く、主な用途先である金属加工業での洗浄工程では、高濃度・単一成分で排出されることから、回収再利用が最も適している。また、これらは有害性が可燃性VOCに比べて大きく保健所などから厳しい指導が行われているため、ユーザーからは回収システムの早期の供給が望まれている。一方、トルエン、キシレン等可燃性VOCは溶剤、化学合成原料を中心に全VOCの圧倒的多数を占めることから、リスク削減目標（2010年に3割削減）達成のためには、この可燃性VOC対策技術の開発が喫緊の課題となっている。

このような情勢から、まず加熱技術として比較的完成度が高い、活性炭素繊維を用いた通電加熱式吸着回収装置の試作機を不燃性VOC回収用として製作した。プロジェクト以前から、20社以上の金属加工業や溶剤回収業者、関係業界の事業組合などへのヒアリング調査を実施し、ニーズの収集・開発目標の確認を行ってきた結果、試作機の仕様は、洗浄槽の開口部面積が1m²程度の金属洗浄工程でよく使われる洗浄装置に設置されることを想定して、処理風量：3m³/min（VOC濃度：500ppm）とした。この試作機を用いて、VOCの脱離（吸着剤再生）条件などの技術開発を行い、試作機を完成させた。さらに、この試作機を用いてフィールドテストを行い、回収装置の処理能力、エネルギー効率、安定した運転稼働などを検証し、装置としての実用性を確認した。また、フィールドテストで回収した溶剤の品質については、東京大学と共同で検証を行った。

一方、トルエンなど可燃性VOCの吸着回収技術の開発に向けては、安全性の面からシステム全体が不燃性であることが重要であるため、高周波によって発熱剤とゼオライト吸着剤を加熱する高周波加熱式吸着回収装置の試作機を、産業技術総合研究所を中心に開発を行った。この開発に際しては、通電加熱式吸着回収装置での開発技術、ノウハウ等を随時フィードバックしながら行った。

2) モニタリングシステム

モニタリングシステムの開発に関しては、エンバイロメント・テクノロジー・ベンチャーズ(株)から東京大学に研究再委託した。開発されたモニタリングシステムは、通電加熱式吸着回収装置の試作機に組み込まれ、動作確認を行った。

3. 研究結果と考察

3. 1 不燃性 VOC 用吸着回収装置（通電加熱式）

活性炭素繊維は可燃性であるため、可燃性の VOC の吸着回収装置には安全性の面から不向きであるが、吸脱着速度が高いことや、通電加熱手法は加熱および温度制御装置が安価であることなどから、不燃性 VOC の小型の吸着回収装置には適している。

1) 装置開発

① 吸着体の開発

吸着剤にはフェノール樹脂を原料とするフェルト状の活性炭素繊維を用いた。この両端に金属製の板状の通電加熱用電極を装着し、さらに吸着体の層間にベークライト製のスペーサーを設けて吸着体とした。(図 A-(2)-1)

スペーサーは、処理ガスの偏流による不均一な VOC の吸着を防止し通電加熱時の吸着体の温度均一性を向上させるとともに、吸着体内での蓄熱を防止する。開発した吸着体を搭載して、処理風量 $3\text{m}^3/\text{min}$ の活性炭素繊維通電加熱式吸着回収装置の試作機を製作した。(図 A-(2)-2)

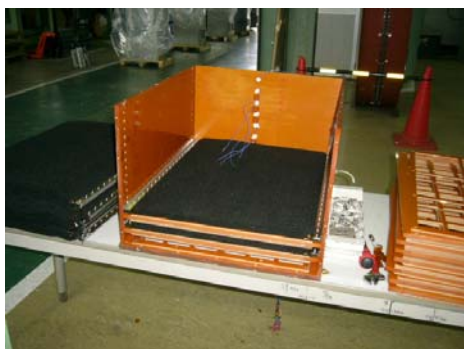


図 A-(2)-1 活性炭素繊維の通電加熱用吸着体



図 A-(2)-2 通電加熱式試作機

② 脱離（吸着剤再生）工程の開発

図 A-(2)-3 に、本装置の吸着回収装置の構成（フロー図）を示す。構成は吸着剤の加熱媒体とキャリアガスとしてスチームを用いる従来装置と大きな違いはないが、スチームを用いない直接加熱式吸着回収装置で最大の技術課題は、いかに少ないキャリアガス（空気や窒素などを用いる）で吸着剤から VOC を効率良く十分に脱離させるかである。本装置では脱離工程において、真空ポンプによる減圧と通電加熱により脱離した VOC はキャリアガスと共に凝縮器に導入され、凝縮器温度（一般には $0\sim 5^{\circ}\text{C}$ ）での飽和蒸気圧以上の濃度の VOC は凝縮し液化して回収される。本装置でキャリアガスとして用いる空気は、凝縮器温度でスチームとは違い凝縮しないので、VOC 回収タンクからキャリアガスが排出される。ところが、このキャリアガスには高濃度（凝縮器温度での飽和蒸気圧）のトリクロロエチレンなどの不燃性 VOC ガスが含まれる。これを大気中には排出できないので、処理ガスとともにもう一方の吸着塔に再吸着させる。従って、キャリアガスが多

いほど再吸着すべき VOC 量が多くなり、装置の吸着処理能力を奪い低下させることとなる。また、一旦吸着回収していた VOC を脱離し、さらに再度吸着するため、エネルギー的にもロスとなる。逆に、キャリアガスが少ないと吸着体から VOC の脱離（吸着剤再生）が不十分となり、吸着能力が不足し回収効率が低下する。実験によりキャリアガス流量を最適化した。

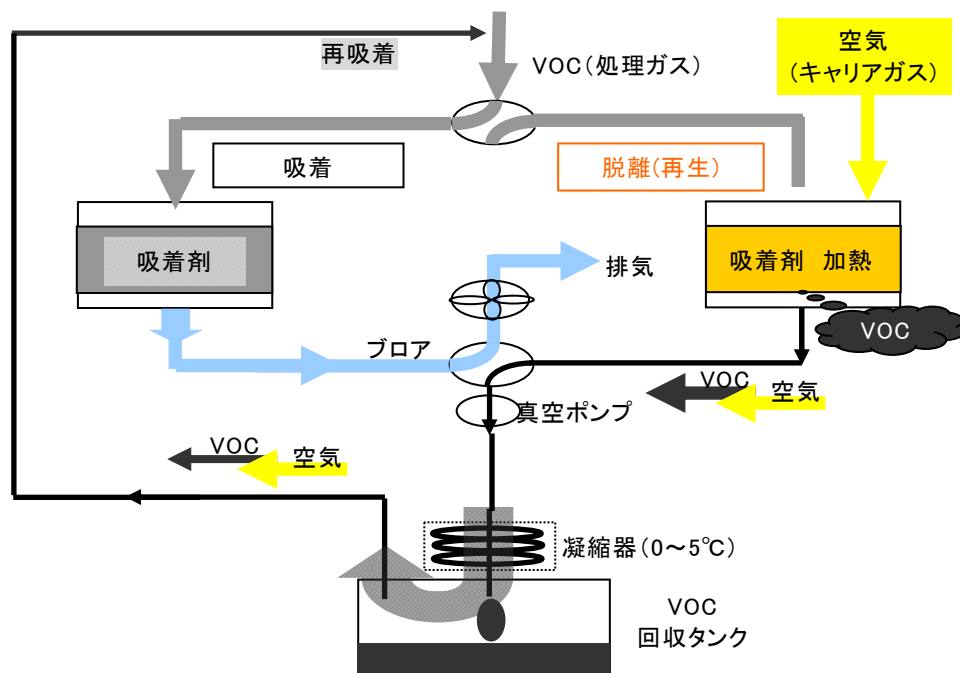


図 A-(2)-3 吸着回収装置の構成とフロー

③ 脱離条件の最適化

脱離条件としては、

- ・加熱関連：脱離温度（吸着体の加熱温度）、加熱（脱離工程）時間
- ・キャリアガス関連：流量、キャリアガスの導入のタイミング
- ・脱離（再生）中の吸着槽内の真空度関連：脱離開始前及び脱離中の真空度

などの条件を、工程前に最適化する必要がある。また、これらの条件は回収する VOC の種類、処理風量、濃度などによっても最適化する必要がある。

トリクロロエチレン（3m³/min、500ppm）に対し最適化した脱離条件は、

- ・脱離温度 140℃、加熱時間 12 分
- ・キャリアガス流量 20L/min、キャリアガスの導入は吸着体加熱温度 60℃到達時
- ・脱離工程開始前の真空度 8kPa、脱離工程中の真空度 10～20kPa

この脱離条件開発の結果、回収効率（1 - (装置の排気の VOC 濃度 / 処理ガスの VOC 濃度)）90%以上を得た。

2) フィールドテスト

① フィールドテスト先の諸状況

所在地：茨城県

業種：住宅建具用金具の鍍金工場

VOC 発生工程：鍍金前の金属部品の脱脂洗浄

発生 VOC：トリクロロエチレン（約 20～25kg/日）

【洗浄装置の概要】（図 A-(2)-4）

洗浄槽の大きさ：W1.8m×D0.6m

洗浄槽の構成：3槽式

洗浄方法：洗浄物を金属製籠に入れて手作業にて各洗浄槽に浸漬し洗浄する

既存の局所排気装置：洗浄槽上部の縁部（正面と左右の3方）に設置されている吸引ダクトから戸外に排気し作業環境を維持（風量は平均 8m³/min）

【試作機の設置状況】



図 A-(2)-4 洗浄装置



図 A-(2)-5 試作機の設置状況



図 A-(2)-6 吸引ダクトの設置状況

② フィールドテスト結果

【フィールドテスト結果の概要】

テスト期間：平成 19 年 6 月末～平成 20 年 1 月末（連続運転は 6 月末～9 月末）

処理風量：3m³/min

平均液回収量：0.4kg/hr（3～4kg/日）

平均回収率：89.8%

平均消費電力：2.4kW（最大 5kW）

トリクロロエチレンの使用量（20～25kg/日）に比べ少ないのは、洗浄物による溶剤の持出しと、既存の局所排気量が大きいことによる。この工場では洗浄後、洗浄物が周辺に放置し乾燥される間の溶剤の放出分は未回収である。また洗浄装置の工場内での設置場所の事情で、風量 8m³/min で洗浄槽周囲から回収装置を通さず外部に排気されている。

回収率は、直接加熱式では吸着剤の完全脱離が容易でないため、スチームを用いた従来の回収装置に比べやや低い。根本的な改善には吸着剤の大幅な増量を必要とし、本装置のコンセプトである『小型・低価格』とのバランスも含めて検討が必要である。

【連続運転期間における回収率の推移】（図 A-(2)-7）

平成 19 年 6 月末～9 月末での 3 ヶ月間の連続したフィールドテストでも、吸着回収能力の低下は見られず、安定した稼働を示し、90%前後の回収率を維持し続けた。

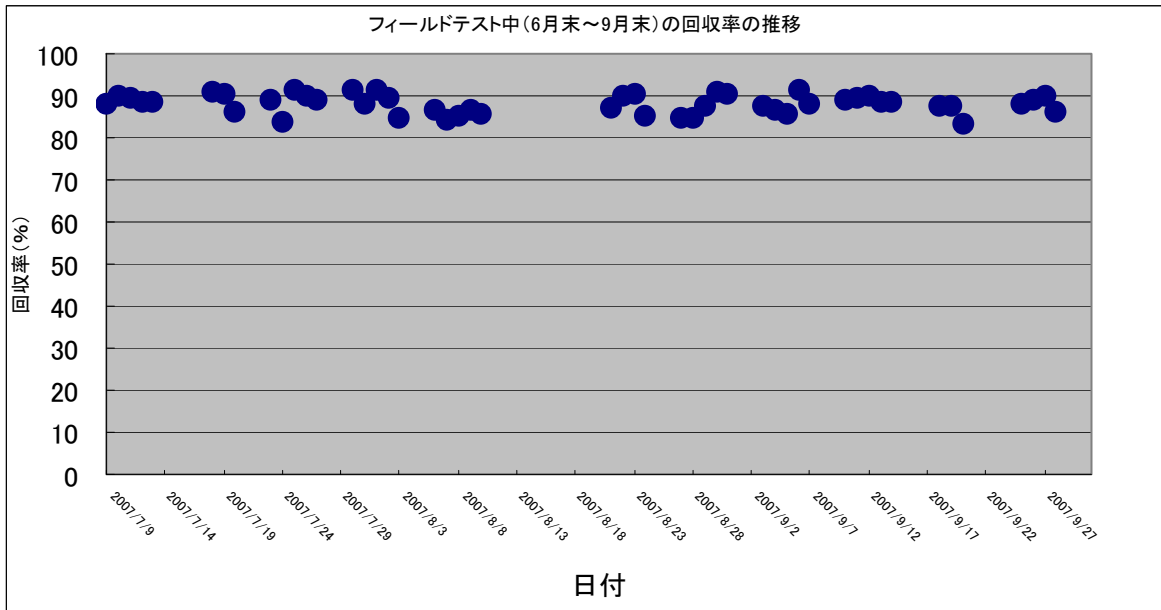


図 A-(2)-7 連続運転期間における回収率の推移

【変動負荷への対応】

フィールドテストでの洗浄工程は手作業のため、洗浄装置から回収装置に導入される処理ガス中のトリクロロエチレン濃度は洗浄作業の内容により、100～3000ppm 以上まで非常に大きく変動する。そこで、回収装置の前に設置したプレ吸着体により、パルス的に発生する過大なトリクロロエチレンを一旦吸着し、平常時に放出させることで、回収装置に導入される濃度は平準化され、安定して回収処理された。(図 A-(2)-8)

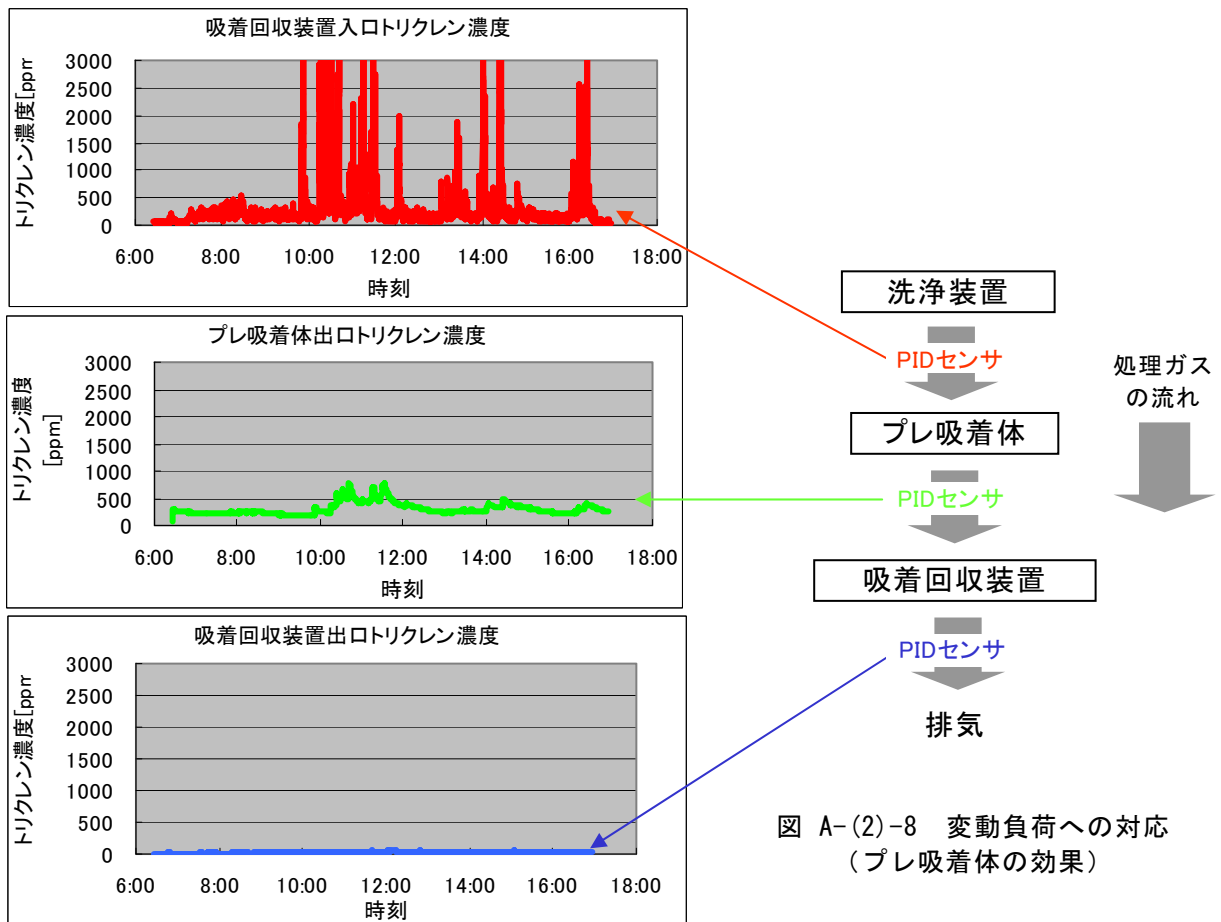


図 A-(2)-8 変動負荷への対応 (プレ吸着体の効果)

3) 回収溶剤の品質（フィールドテストでの回収トリクロロエチレンの検証）

トリクロロエチレンの分解による塩酸などの酸の生成とその影響を抑制するために、工業用トリクロロエチレンには安定剤や酸を中和する pH 調整剤が添加されている。トリクロロエチレンは難水溶性で、水との比重差も大きいため、吸着回収装置から回収されたトリクロロエチレンは簡単な水との分液（この水は吸着回収装置でトリクロロエチレンと同時に回収された空気中の水分）により、純度的には十分に再利用できるものが得られるが、安定剤や pH 調整剤が抜けている。また、回収装置での加熱脱離時の熱で、トリクロロエチレンの一部が分解している可能性もあり、回収トリクロロエチレンの再利用には、その品質が重要である。

① 洗浄サンプルの浸漬実験

トリクロロエチレンの評価方法の一つが酸性度で、トリクロロエチレンに同量の水を加えて5分間振とうし、酸などを水層に抽出して pH を測定したものである。フィールドテストでの回収トリクロロエチレンの酸性度には、pH 2 を示すものもあった。

そこでフィールドテスト先の鍍金工場の洗浄品である亜鉛ダイキャストとアルミ箔を、回収トリクロロエチレンに2週間浸漬する実験を行った。（図 A-(2)-9、A-(2)-10）

酸性度が pH 2 の回収トリクロロエチレンに浸漬した場合も、目視ではそれらの試験片に異状は見られなかった。酸性度 pH 2 の回収トリクロロエチレンも、それ自体は水分が少なく純度が高いため、酸の影響が小さかったと思われる。

回収されたトリクロロエチレンは、純度的には十分に再利用できるが、実際の使用に当たっては、使用現場に応じた更なる見極めが必要である。また、回収した日によって、酸性度が異なることが確認されているが、その原因は現在のところ明らかではない。



図 A-(2)-9 亜鉛ダイキャスト（2週間浸漬）



図 A-(2)-10 アルミ箔（2週間浸漬）

② 回収溶剤（トリクロロエチレン）の分析

【分解生成物】

試作機のフィールドテストで回収されたトリクロロエチレンの酸性度は、pH 2~6 と日によってバラつきがあったが、酸性度と塩化物イオン濃度には相関が見られなかったことから、水抽出溶液が酸性を示す原因物質は、塩酸以外の有機酸等の影響が大きいと考えられる。酸性を示すトリクロロエチレンの水抽出液を SE-GC/MS（溶媒抽出ガスクロマトグラフ質量分析）法により分析した結果、トリクロロエチレンの分解により生じたと考えられるギ酸エステルと 1-クロロ-2-ブタノールが検出され、また GC/ECD（電子捕獲型検出器を備えたガスクロマトグラフ）法により他の生成物も確認された。（図 A-(2)-11、A-(2)-12）

さらに、回収当初、酸性度 pH 6.41 の回収トリクロロエチレンでは検出されなかったピークが、保管された同検体で後日再測定すると新たに検出され、その酸性度も pH 2.85 へ変化しており、回収トリクロロエチレンは保管期間中にも分解生成物が生じていると考えられる。(図 A-(2)-13、A-(2)-14)

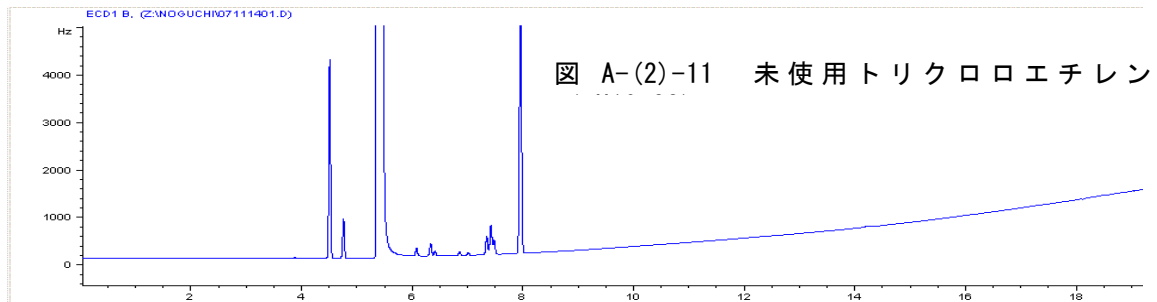


図 A-(2)-11 未使用トリクロロエチレン

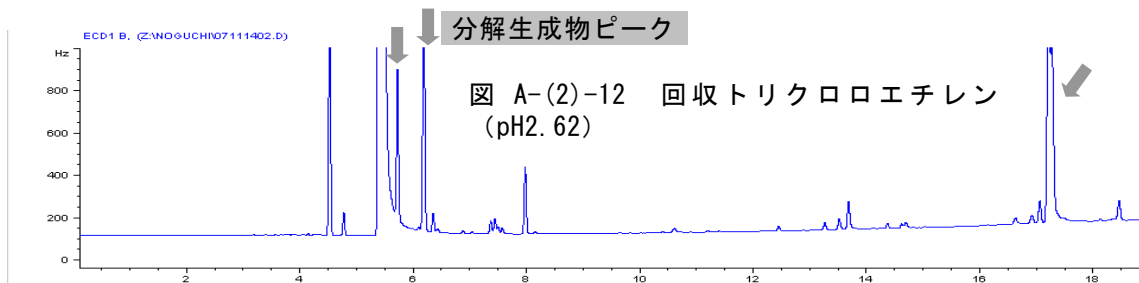


図 A-(2)-12 回収トリクロロエチレン (pH2.62)

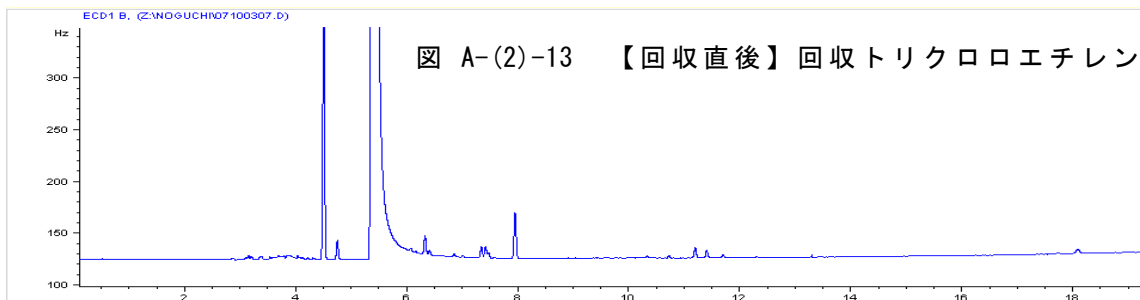


図 A-(2)-13 【回収直後】回収トリクロロエチレン

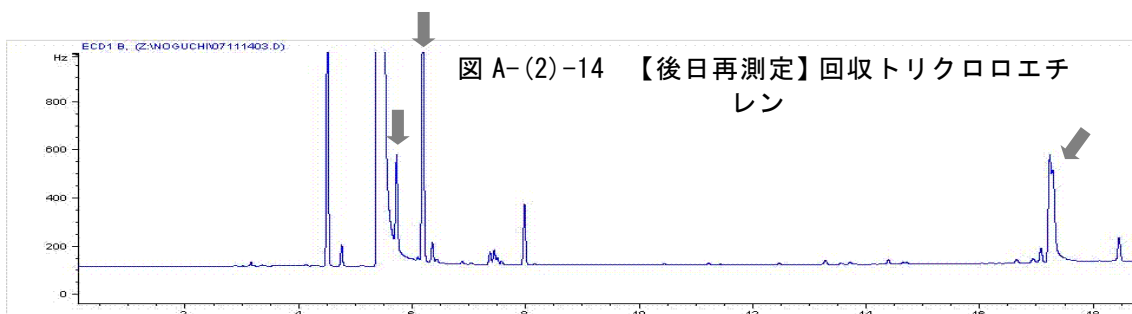


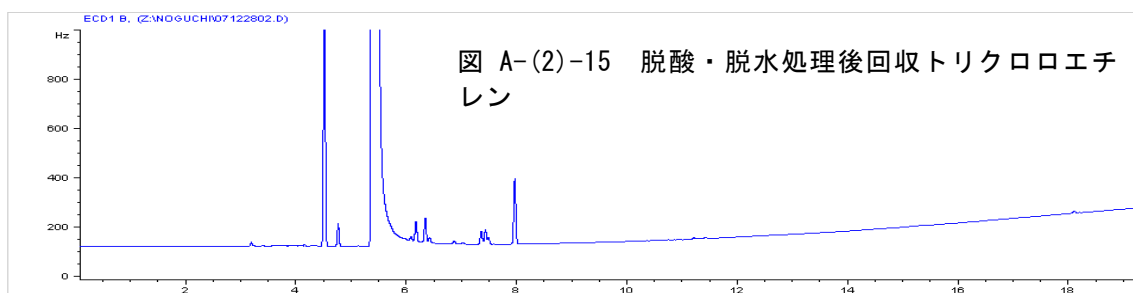
図 A-(2)-14 【後日再測定】回収トリクロロエチレン

③ 回収溶剤の調整方法

脱酸・脱水剤の添加

クリーニング用洗剤など使用後の溶剤中の水分や色素、酸を吸着処理するために市販されている脱酸・脱水剤（品川化成製吸着剤）を、回収トリクロロエチレンに 1wt% 添加した。添加前は酸性度 pH3 以下であったが、添加後では pH5 程度となり、脱水・脱酸処理剤の効果が認められた。さらに GC/ECD 法により、分解生成物と考えられるピークは検出されず、脱水・脱酸剤により分解生成物が除去されたことが確認された。（図 A-(2)-15）

また、脱水・脱酸処理後は、添加 13 日後の時点で pH の再低下は見られなかった。



安定剤

市販のトリクロロエチレンに安定剤として添加されているエチルオキシランを、酸性（pH 3）を示した回収トリクロロエチレンに、1wt% 添加したが pH の改善は見られなかった。

pH 調整剤

さらに、市販のトリクロロエチレンに pH 調整剤として添加されているジイソプロピルアミンを、1wt% 添加することで pH が 11 以上となり、pH の調整にはジイソプロピルアミンが有効であることが確認された。また、その後 10 日間連続測定したところ pH が再度下がる傾向は見られなかった。

④ 回収溶剤の品質のまとめ

通電加熱式吸着回収装置により回収されたトリクロロエチレンの中には、分解生成物が混入しており、回収された後も分解反応が進むものと考えられる。よって原因となる物質を除去する事が重要であると考えられ、市販されている脱水・脱酸処理剤の添加が有効であることが確認された。さらに pH を調整するためにアミン類を添加、長期保存のためにはエチルオキシランなどの安定剤を添加することも有効である。

回収溶剤へのこれらの調整は一般にオンサイトで行われているものであり、以上の結果から、本吸着回収装置で回収された溶剤は、十分に再利用が可能な品質であると結論付けられる。

3. 2 可燃性 VOC 用吸着回収装置（高周波誘導加熱式）

1) 加熱技術の開発

可燃性 VOC を吸着回収する場合、安全性の面からゼオライトやシリカゲルなどの不燃性の吸着剤を用いることが重要である。しかしながらゼオライトやシリカゲルは通電や高周波では直接加熱されないため、加熱材（加熱されるもの）が必要である。

高周波誘導加熱は家庭用の IH コンロと同じ原理で、高周波（数十 kHz）で変動する磁場中に金属（IH コンロの場合は『金属の鍋』）を置くと、金属表面（『鍋の底』）に渦電流が発生し、金属の電気抵抗によって熱が発生する（『鍋が熱せられる』）。

金属（加熱材）は、IH コンロでも鉄製の鍋は使えるがアルミや銅の鍋が使えない場合があると同様に、鉄など磁性体（磁石に引き寄せられる金属）の方が加熱されやすいが、この磁性も磁性体固有のある温度、すなわちキュリー点を越えると失われる。キュリー点を越えると鉄鍋がアルミ鍋になるかのごとく加熱されにくくなり、昇温速度が低下して自動的に温度制御される。ただし、キュリー点を越えると渦電流が発生しないのではなく、金属表面のみに流れていた渦電流が金属全体を流れるようになる。その結果、実質的な電気抵抗が小さくなる（渦電流が流れていた導線が太くなったのと同じ）ので、発熱は減るが全く発熱しないのではない。

吸着回収装置に向けて産業技術総合研究所で開発された高周波加熱技術は、吸着剤には粒状の合成ゼオライト、加熱材には約 5mm 角、厚さ 1mm 程度のチップ状の磁性合金（日立金属製 MS135）を用いた（図 A-(2)-16）。この磁性合金のキュリー点は 135°C である。高周波誘導により吸着剤を加熱した実験結果を図 A-(2)-17 に示す。キュリー点を越えた部分の磁性体は発熱量（昇温速度）が急激に低下する。そのため、吸着体内の温度のばらつきがキュリー点到達以前では 45°C であったものが、キュリー点による温度制御効果により 15°C に収束し、温度均一化が達成されている。これにフィードバック制御を併用することで安全性の高い温度制御が実現されている。



図 A-(2)-16 吸着剤と加熱材

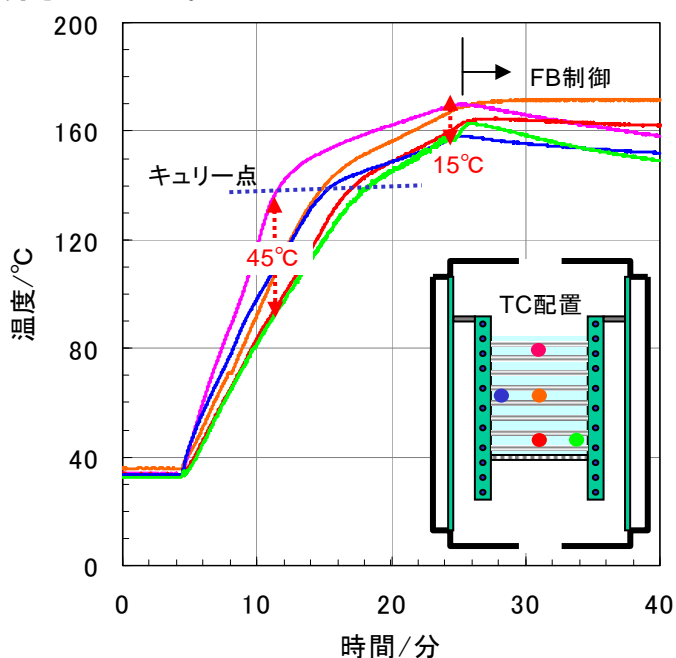


図 A-(2)-17 吸着剤の高周波誘導加熱実験

2) 試作機の開発

産業技術総合研究所で開発された1塔式（バッチ式）の高周波加熱式VOC吸着回収試作機を図A-(2)-18、A-(2)-19に示す。試作機には前出の磁性合金と吸着剤を混合し吸着塔に搭載した。この磁性合金を高周波誘導加熱により加熱することにより、吸着剤であるゼオライトを加熱する。

不燃性VOC用吸着回収装置は2塔式のため、脱離工程において発生するキャリアガスに含まれる高濃度のVOCガスは、もう一方の吸着塔に再吸着させていたが、1塔式の場合はそれができない。そこで、キャリアガスに含まれる高濃度（凝縮器温度の飽和蒸気圧）のVOCガスを、一時的に吸着するキャニスター（小型の吸着体）を設け、脱離回収工程終了後に、吸着塔の吸着体の熱も利用してキャニスターを脱離・再生し、吸着塔に再吸着させるシステムとした。また、これは吸着塔自体の冷却工程も兼ねている。これにより、高効率な吸着回収装置を実現した。（図A-(2)-20）



図 A-(2)-18 高周波加熱式吸着回収試作機

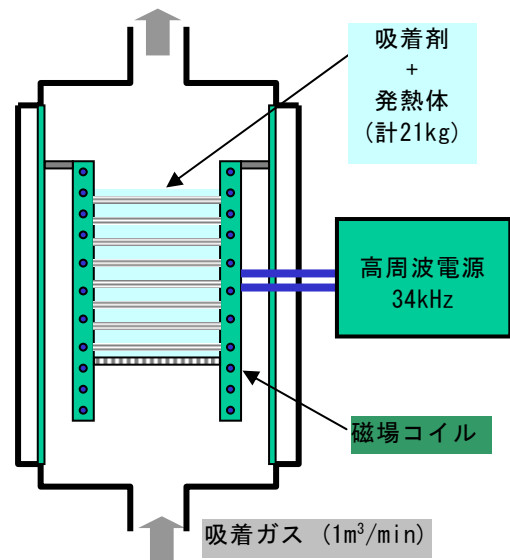


図 A-(2)-19 高周波加熱式の吸着塔

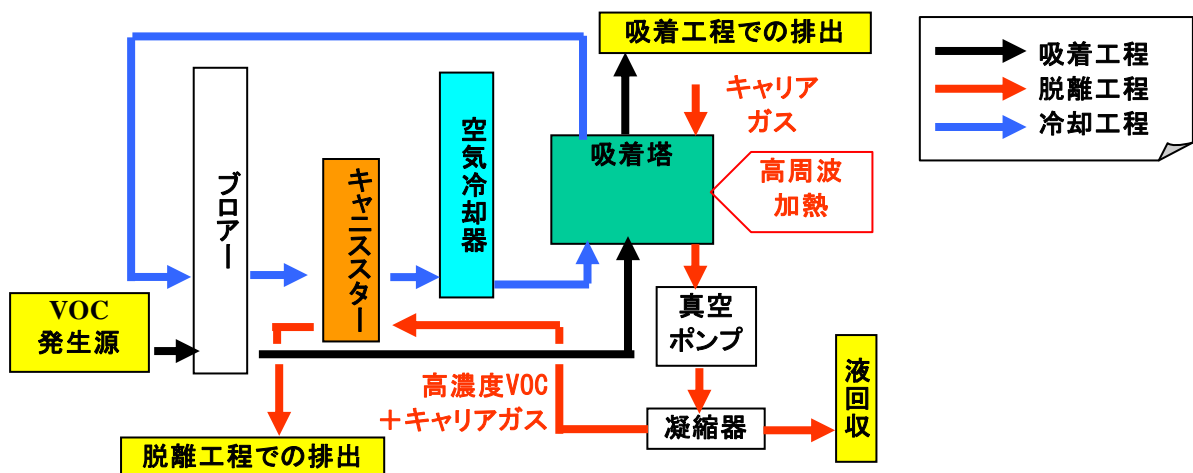


図 A-(2)-20 開発した高周波加熱式吸着回収装置のフロー図

3) 脱離条件の最適化

脱離時のキャリアガスに含まれる高濃度（凝縮器温度の飽和蒸気圧）の VOC ガスは、キャニスターを介して最終的に吸着塔に再吸着されるので、不燃性吸着回収装置と同じく、いかに少ないキャリアガスで効率良く脱離させるかがポイントである。吸着回収試験により脱離条件を最適化した。吸着回収試験にはトリクロロエチレン（1000ppm）を2時間吸着させたが、キャリアガスには可燃性 VOC の吸着回収を想定して窒素を用いた。

キャリアガス流量に関係なく効率よく脱離するには、脱離温度は高い方が望ましい。不燃性 VOC 吸着回収装置に用いた活性炭素繊維は吸着脱離が容易であることと、活性炭の触媒作用によるトリクロロエチレンの分解の恐れがあるため 140℃で脱離させたが、ゼオライトの場合は脱離しにくく 140℃では不十分であることが、表 A-(2)-1 の結果から判る。また、脱離温度 200℃で回収したトリクロロエチレンの酸性度は中性で分解していないと考えられる。

また、活性炭に比べゼオライトの場合、脱離しにくいので、吸着体温度（脱離温度）の影響が大きいと考えられる。

キャリアガス流量は、多い場合はゼオライトから VOC の脱離は進むが再吸着の負荷が大きくなり、少ない場合は再吸着の負荷は少ないが十分な脱離が出来ない。本試作機では 15ℓ /min が最適値であった。（表 A-(2)-2）

その他、キャリアガスの導入タイミングの最適化やキャニスターからの脱離方法の改良などを行った。その結果、回収効率 93% を得ることが出来た。（図 A-(2)-21）

表 A-(2)-1 脱離温度の回収率への影響

脱離温度 [°C]	回収率 [%]
140	58.6
170	73.6
200	81.8

表 A-(2)-2 キャリアガス流量の回収率への影響

キャリアガス流量 [ℓ /min]	回収率 [%]
10	68.8
15	81.8
20	77.0

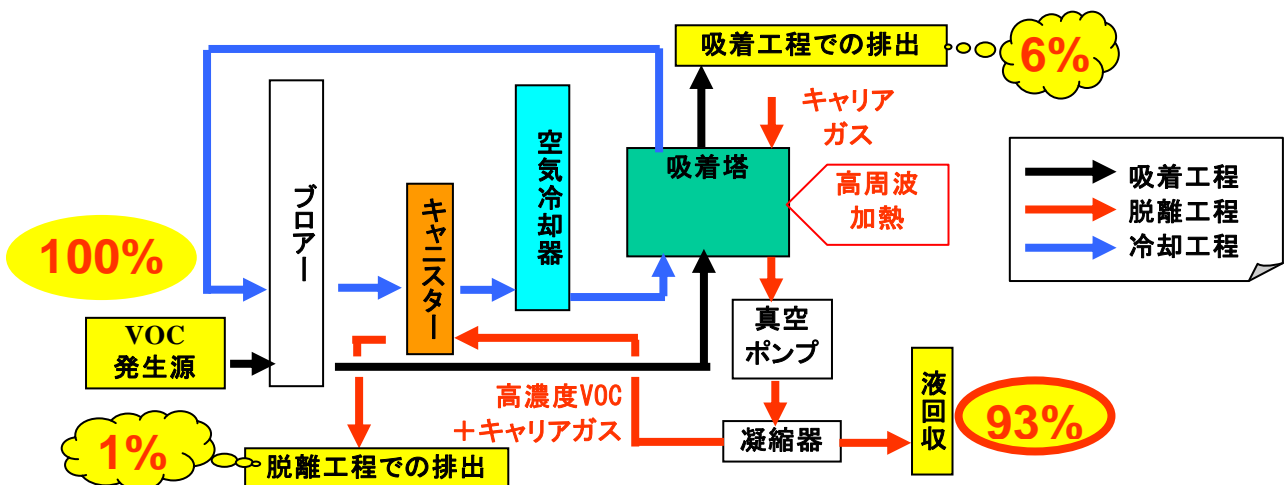


図 A-(2)-21 開発した高周波加熱式吸着回収装置の材料バランス

3. 3 モニタリング技術

モニタリングシステムの開発に関しては、エンバイロメント・テクノロジー・ベンチャーズ(株)から東京大学に研究再委託した。

図 A-(2)-22 にモニタリングシステムの全体構成を示す。モニタリングシステムは、吸着回収装置に付加した VOC センサにより吸着回収装置を制御するソフトと、溶剤の使用量や検査結果などいろいろな情報から環境管理や報告書の作成を支援する VOC 管理ソフトの 2 つに大きく分けられる

1) 回収装置制御ソフト

VOC 吸着回収装置に付加した VOC センサにより、回収装置に入る VOC 濃度と回収装置から排出される VOC 濃度を計測する。

VOC センサには防爆性と応答性の高さから、PID（光イオン検出器）式を用いている。このセンサによる回収装置への制御機能は以下の通りである。

- ①処理ガス（回収装置に入る）VOC 濃度により回収装置の処理能力を制御し省エネを図る。
- ②処理ガスと排気ガスの VOC 濃度の履歴データ等から、装置のメンテナンス（吸着体リフレッシュ運転など）情報を発信する。
- ③回収装置から排出される VOC 濃度から装置の異常を検出する。

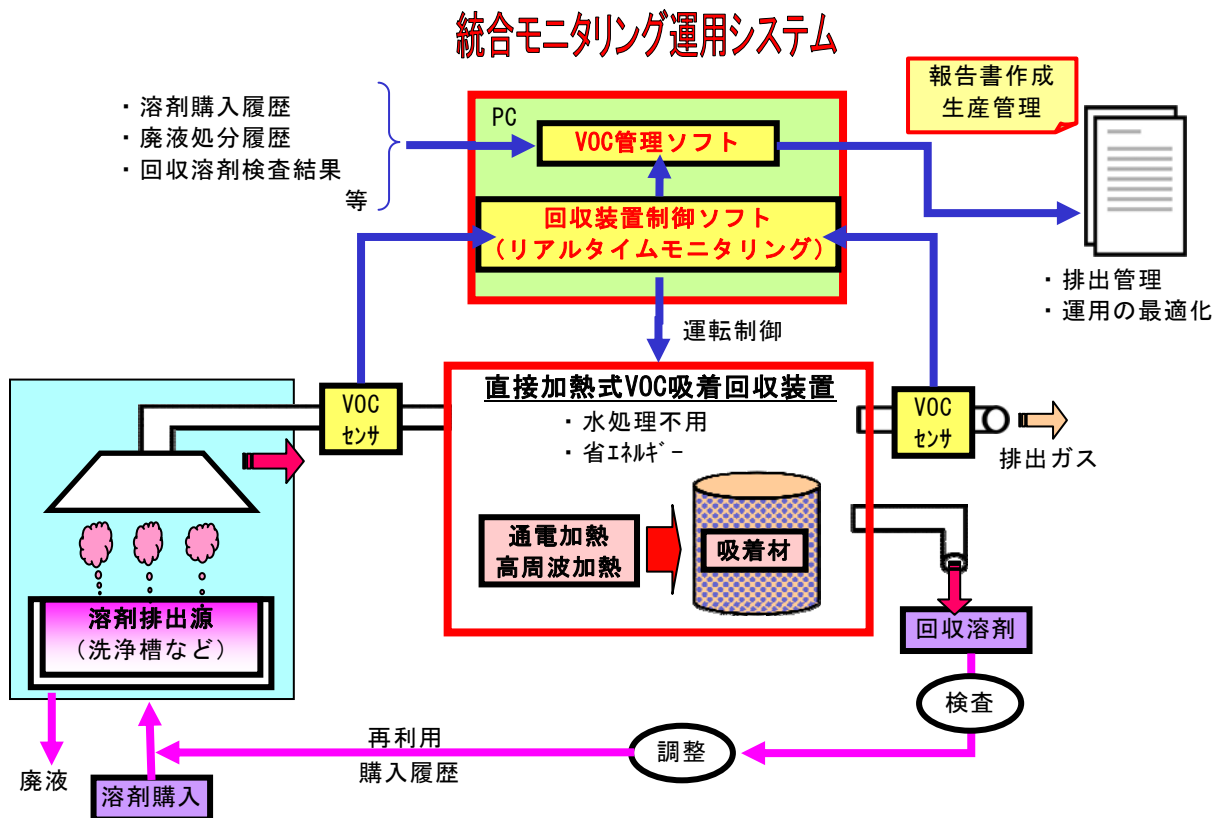


図 A-(2)-22 モニタリングシステム概要

2) VOC 管理ソフト

大気排出 VOC のリスクを削減するためには PRTR (Pollutant Release and Transfer Register : 化学物質排出移動量届出制度) により排出量を把握して大気排出 VOC の削減努力が望まれている。しかし中小企業では人手がなくこのために新たに人を雇用する余裕はない。そこで、回収装置の稼動時の管理プログラムに PRTR 簡易集計ソフトを開発することにより簡単に PRTR を導入することが出来ようにした。溶剤の購入・廃棄処理の記録の入力をするにより PRTR の集計及び化学物質の排出量の年度推移が簡単に把握出来る。

さらには、回収溶剤の品質分析 (回収溶剤 pH 及び純度分析等) による、回収溶剤再利用手法を確立した。

VOC 管理ソフトにより、簡単に下記報告書の作成が可能となった。(図 A-(2)-23)

- ・ PRTR 対応報告書
- ・ 回収溶剤分析結果報告書
- ・ 環境分析結果報告書
- ・ 溶剤総合管理報告書

これらのソフトは、吸着回収装置の導入ならびに導入後の運転管理を支援し、回収装置の普及に大いに貢献すると考えられる。

The screenshot shows a software window titled "装置導入後 処理メニュー" (After Device Introduction Processing Menu). It has two main sections: "入力" (Input) and "出力" (Output). The "入力" section includes buttons for "連続運転記録" (Continuous Operation Record), "回収溶剤分析結果" (Recovery Solvent Analysis Results), "環境分析結果" (Environmental Analysis Results), and "購入・受払い記録" (Purchase/Receipt Record). The "出力" section includes buttons for "PRTR対応報告書" (PRTR Correspondence Report), "回収溶剤分析結果報告書" (Recovery Solvent Analysis Results Report), "環境分析結果報告書" (Environmental Analysis Results Report), and "溶剤管理総合報告書" (Solvent Management Comprehensive Report).

Below the software window is a sample report form titled "排出量及び移動量の届出書" (Emission and Transfer Report). The form includes the following information:

平成19年2月28日
 〒001-0001
 (ありがな) ちびけんまことしまこと
 届出者 住 所 千葉県松戸市松戸1-1-1
 (ありがな) スーレー・シー・エス
 氏 名 ABC工業株式会社
 代表取締役 岡部 力
 (法人にあっては名称及び代表者の氏名)
 等及び管理の改善の促進に関する法律第5条第2項の
 届及び移動量について、次のとおり届け出ます。

事業所	事業者の名称	前回の届出における名称	事業所の名称	前回の届出における名称	所在地	事業所において常時使用される従業員の数	業種名	業種コード	排出先	単位	備考
	ABC工業株式会社	スーレー・シー・エス	ABC工業 松戸工場	スーレー・シー・エス	千葉県 松戸市 松戸1-1-1	46	溶剤加工	1011	30	mg-TEQ	1. 安定型 2. 管理型
									1.3		
									1.5		排出先の河川、湖沼、海域等の名称
									0.0		
									8		1. 安定型 2. 管理型 3. 燃焼型
									0.0		
									1.1		

※整理番号

図 A-(2)-23 報告書出力例

4. 結言

1) プロジェクトの成果

スチームを使わず電磁場エネルギーで吸着剤を直接加熱する技術を用いて、中小企業でも導入可能な小型・低価格、かつ高効率なVOC吸着回収装置の研究開発に成功した。

活性炭素繊維の通電加熱による不燃性VOC用吸着回収装置の開発では、多くの金属加工業者などへのヒアリング調査からニーズの収集・開発目標を確認し、試作機の仕様を処理風量：3m³/minで小型・低価格な装置として設定し開発した。本開発装置は、3ヶ月間の連続試験を含め、半年間のフィールドテストを民間のメッキ工場にて行い、気温が氷点下から40℃以上になる設置環境下においても安定して稼動し、回収率90%を達成し、装置の信頼性を実証した。また、回収溶剤に関しても分析を重ねた結果、通常の回収溶剤への調整に用いられる処理にて十分に再利用可能な品質であることを確認し、システムの実用性が実証された。直接加熱式の吸着回収装置で、このようなフィールドテストを長期間実施し成功した実績は世界でも最高水準である。

また、本開発装置（試作機）のイニシャル及びランニングコストにおける既存システムとの比較を表A-(2)-3に示す。イニシャルコストに関しては現状でも競争力はあるが、現在大幅なコストダウンに向けて開発を継続中である。装置の大きさについても、現在吸着剤からも再検討を加え、試作機の約1/4にコンパクト化できる目処がついた。ランニングコストは他の追随を許さず、直接加熱式の圧倒的な省エネ性が証明された。

プロジェクト終了時点での全体的な目標達成度は70～80%と考えるが、現時点では大幅に前進していると考えている。

可燃性VOC用の高周波加熱式吸着回収装置に関しては、処理能力1m³/minにて回収率93%を達成し、実用可能性を確認した。現在、処理風量50m³/min相当の吸着体と発熱体を製作し、加熱試験を通して装置の大型化の可能性を検証中である。

モニタリング技術に関しては、回収装置制御ソフトとVOC管理ソフトを統合した『統合モニタリング運用システム』を構築し、吸着回収装置の導入ならびに導入後の運転管理を支援し、回収装置の普及に大いに貢献すると考えられる。

表 A-(2)-3 試作機のイニシャル及びランニングコスト

		通電加熱式 【P/J 試作機の場合】	スチーム加熱式 (東京都VOC対策ガイド)	吸着剤交換式 回収装置(レンタル)
イニシャル コスト	本体	500万円	450万円	—不要—
	ボイラー	—不要—	70万円	—不要—
	冷却水	20万円(クーリングタワー)		—不要—
	ダクト工事	50万円	80万円	50～100万円
	【合計】	570万円 販売時目標300万円	620万円	50～100万円
ランニング コスト	スチーム	—不要—	30kg/h(300円/h)	—不要—
	消費電力	4kW(80円/h)	1.7kW(34円/h)	3.7kW(74円/h)
	その他	—	—	レンタル+吸着塔交換費 10万円~/月(500円/h)
	【合計】	80円/h	334円/h	574円/h

2) 今後の展開

プロジェクト前後を通して、ヒアリング調査などで得た溶剤のユーザーや関係事業者・組織とのネットワークから、情報収集・交換と開発目標の確認を行い、事業化計画を進めている。

《事業化スケジュール》

- ・ 通電加熱式 H20～21 年度：製品化設計
H22 年度：上市予定
- ・ 高周波加熱式 H20～21 年度：製品システムの実用性評価
H22 年度：製品化設計
H23 年度：上市予定

《ビジネスモデル（図 A-(2)-24）》

CASE1：溶剤リサイクル会社への展開促進

* 溶剤リサイクル会社（印刷工場など溶剤のユーザーから廃溶剤の処理を請負い、精製して再生溶剤として販売など行う）が回収設備をユーザーのサイトに設置し、回収溶剤の精製、再販でビジネス拡大を目指す。

CASE2：ユーザーのオンサイトで回収再利用を促進

- * 高品質の回収溶剤によりオンサイトで精製再利用が促進され、中小ユーザーの設備投資回収が可能になる。
- * 印刷業への展開促進にはリサイクルしやすいインクの開発（メーカーとの協業）も必要。

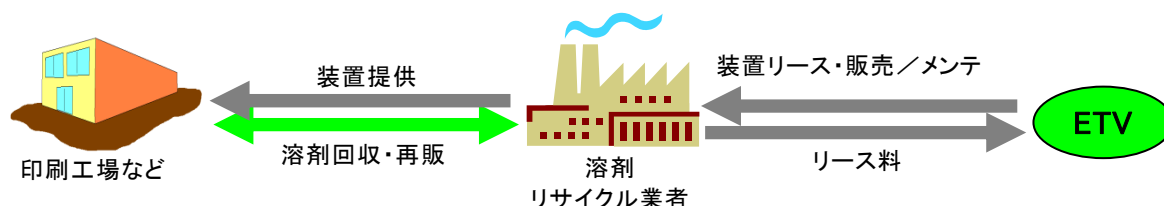
《対象市場》

① 不燃性 VOC 市場

PRTR 届出事業所数 1128 件⇒22,443 t/年（トリクロロエチレン 等）

② 可燃性 VOC 市場 全国グラビア印刷施設数 500 施設 ⇒58,000 t/年（トルエン 等） 全国ラミネータ台数 262 台 ⇒26,100 t/年（酢酸エチル）

◆ 回収溶剤の溶剤リサイクル業者による精製・再利用（トルエン等の混合溶剤）



◆ 回収溶剤のオンサイトでの再利用（トリクロロエチレン、ジクロロメタン、酢酸エチル等）

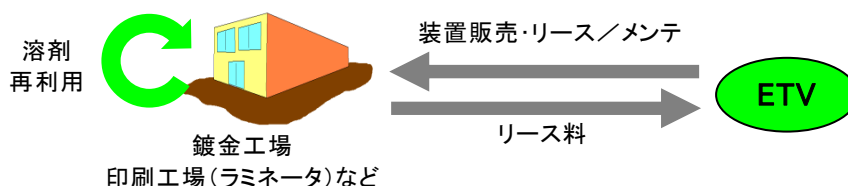


図 A-(2)-24 ビジネスモデル

2-A-(3) 吸着相オゾン酸化による排出有害物質の完全分解処理

プロジェクトリーダー：東京大学生産技術研究所教授 迫田章義

実施企業

財団法人 産業創造研究所

岩尾磁器工業株式会社

東洋インキエンジニアリング株式会社

1. 研究概要

我が国の大気汚染状況は、浮遊粒子物質に関して環境基準の達成率が依然低い事、光化学オキシダントについて年々漸増の傾向にある事が特に問題視されている。これらは発癌性等、人健康へもたらす悪影響が懸念されており、その発生には種々の揮発性有機化合物（VOC：Volatile Organic Carbon）の関与が指摘されている。このためVOCという具体的な物質群に対し新たに規制が検討されつつある。一方排水については、溶存有機物質に関して言えばBOD（Biological Oxidation Demand:生物学的酸素要求量）、COD（Chemical Oxidation Demand:化学的酸素要求量）等の総括的な指標による規制が設けられてきた。しかし個々の有害物質により排出量やその危険性が異なる上、場所によって排水状況（例えば含有有機物質種など）は多種多様である。排水状況の多様性を考えれば困難は付き纏うが、こちらも物質種がより具体化された管理が理想的であろう。大気環境、水環境に対する排出リスクの削減に当たっては排出状況を把握し削減効果の大きいターゲット物質を絞り、そこに適当なエンドオブパイプ技術を導入していくことが一つの方法であろう。幸い近年PRTR法（Pollutant Release and Transfer Register：化学物質排出移動量届出制度）が施行され、リスクの高い物質に対して業種ごと、また地域ごとの排出状況の把握が進み、その物質収支が明らかになりつつある。例えば工場排ガスにおいてはトルエン及びキシレンの排出量が圧倒的に多く、全体の40%以上を占めることが明らかとなっている。更にわが国の事業体の大部分が中小企業であることを鑑みれば、上記のようなPRTRデータを活用しターゲット物質を絞った上で特に中小事業体中心に対策を施すのが有効なリスク削減方法となろう。しかし中小事業体がエンドオブパイプ技術を自発的に導入するための小容量、安価且つメンテナンス容易な有害物質処理技術は現在皆無に等しい。

このような背景の下、排気、排水に起因する大気環境及び水環境の全体的なリスク削減に資するため、本研究では中小事業体での有害有機物質の処理をターゲットとした排気処理プロセスおよび排水処理プロセスを開発する。排気処理および排水処理において処理原理は共通しており、『吸着相オゾン酸化』と呼んでいる。具体的には、図A-(3)-1に示すように吸着処理とオゾン処理を組合わせて一つにしたものであり、吸着剤の細孔

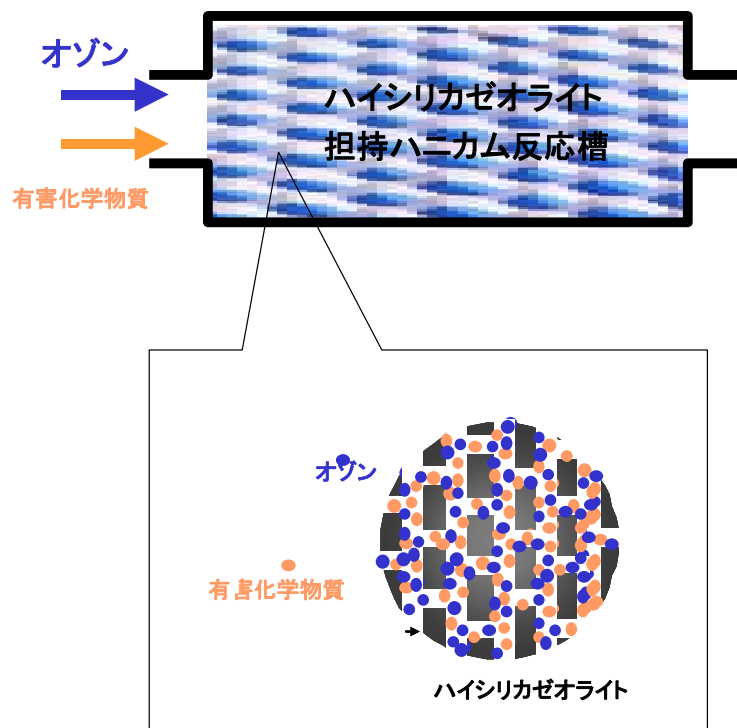


図 A-(3)-1 吸着相オゾン酸化処理の原理

の内部にあるいは内部表面（吸着相）に有害有機物とオゾンが共に吸着・濃縮され、その反応場で迅速な酸化分解を行うものである。その主たる特徴は、従来の吸着処理およびオゾン処理の弱点の補完するものである。吸着処理は非定常操作であり、処理装置出口における処理対象物質の濃度の制御・管理と使用済みとなった吸着剤の再生が必須であり、これらの操作は煩雑である。また、オゾン処理はオゾンと処理対象物質の反応速度は一般的に小さく、省スペースで安価な装置とならない場合が多い。

一方、『吸着相オゾン酸化』（本開発技術）では、処理対象物質は吸着剤（活性炭ではなくゼオライトの類）に迅速に吸着除去されると共に、同時にオゾンも吸着剤細孔内に濃縮されるため、著しく反応速度が増大する。即ち、一つの単位操作で有害有機化学物質の吸着除去と吸着剤の超迅速再生（吸着された有害有機化学物質の超迅速分解）が同時に達成でき、目標とする省スペース、低コスト、保守容易なプロセスを構築できる可能性がある。

以上のようなコンセプトを基に本研究では、①本開発プロセスに用いる最適吸着剤の選定、②本処理の有効性調査（吸着処理単独、オゾン処理単独、吸着相オゾン酸化処理の比較）、③処理ガス（もしくは処理水）の定性、物質収支取得、反応機構解明等の基礎現象の把握、④実用機初号機（プロトタイプ機）製作、実排気・排水サイトにおけるプロトタイプ機運転による実証実験を通して、最終的に目標とする処理プロセスを構築することを目的とする。

なお、本年度の処理対象物質は、排気処理ではトルエンおよびキシレン、排水処理ではトリクロロエチレンおよびアセトアルデヒドに絞ることとした。排気処理におけるトルエンおよびキシレンは上述のように大気への排出量の 40%を占め、削減効果が非常に大きな物質である。排水処理におけるアセトアルデヒドは、繊維工業やプラスチック製造工業で、トリクロロエチレンは金属製品製造業、精密工業で多く排出されていることから、本技術の導入が期待されていると言える。また、アルデヒド類は現在の浄水オゾン処理において主たる副生成物の一つであり、アセトアルデヒドの本処理技術による分解の研究を通して広くアルデヒド類の抑制を図ることができれば、浄水処理への本技術の導入が考えられ、その波及効果は計り知れない。

以下、想定している製品イメージの詳細を示す。

排気処理用



高さ：150cm

幅：60cm

奥行：60cm

処理容量：10-100m³/hr

対象物質の目標除去率：90%

装置コスト：100-400 万円

導入分野：印刷業 等

削減対象物質及び目標削減量：

トルエン+キシレン(目標削減量 2010 年：1,560t/年、2015 年：7,800t/年)

排水処理



高さ：150cm

幅：50cm

奥行：50cm

処理容量：2 m³/day

対象物資の目標除去率：90%

装置コスト：80万円

導入分野：繊維工業、金属製品製造業等

削減対象物質及び目標削減量：

アセトアルデヒド+トリクロロエチレン

(目標削減量 2010年：10t/年、2015年：21t/年)

研究方法

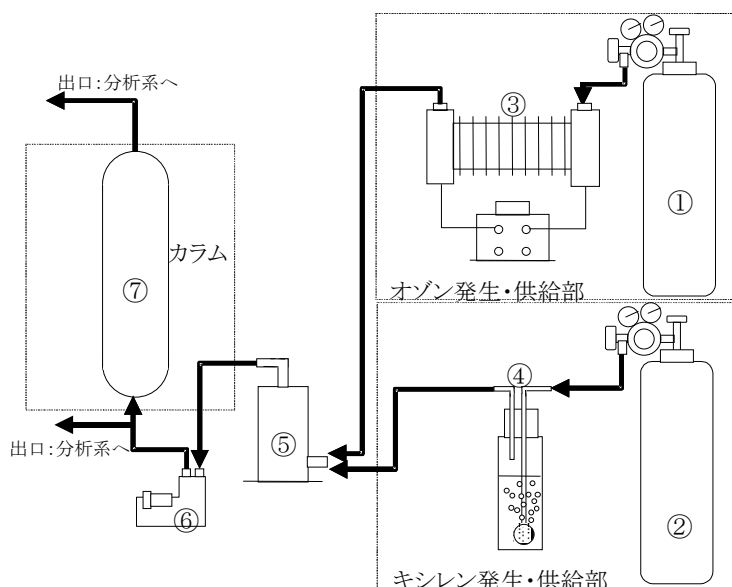
【排気処理】

本研究開発では以下のようなⅠ. 小型カラム試験、Ⅱ. プロトタイプ機試験を主に実施した。

Ⅰ. 小型カラム試験

試験装置及び方法 小型カラム試験は、①最適吸着剤の選定、②本処理の有効性の実験的検証（吸着処理単独、オゾン処理単独、吸着相オゾン酸化処理の比較）、③物質収支と反応機構の解明などの基礎現象の把握を目的としている。図 A-(3)-2 に小型カラム試験装置のフローシートを示す。オゾン発生器で発生させたオゾンを含む酸素と、ガス洗浄瓶を用いて所定の蒸気圧の処理対象物質の蒸気を含んだ酸素を、混合器で混合し、その混合ガスを温度調整した吸着槽（吸着剤のハニカムもしくはペレットの充填槽）に流通し、カラム出口のオゾン、処理対象物質（トルエン、キシレン）、炭化水素濃度の経時変化を測定した。また、炭素収支をとるにあたっては、吸着剤に蓄積する中間生成物等もあり得ることを想定し、一定時間実験に用いた後の吸着剤を取出し、含有する元素（C、H、N）の分析も行った。

分析 オゾン濃度の測定には紫外吸光度計（東京光電製）、トルエン濃度の測定には GC-MS、QP-5050（島津製作所製）（分離カラム：DB1（島津製作所））、そして炭化水素濃度の計測には炭化水素計 HCM-1B（島津製作所）を使用した。また、吸着剤に蓄積する炭素成分の定量には CHN 計 Series II CHNS/O Analyer 2400（Perkin Elmer 製）を使用した。



①②酸素ボンベ③オゾン発生器④洗浄瓶（処理対象 VOC 含）⑤ガス混合容器⑥ポンプ⑦吸着剤充填（吸着剤ハニカム装填）カラム

図 A-(3)-2 排気処理用小型カラム試験装置フローシート

II. プロトタイプ機試験

試験装置及び方法 小型カラム試験の試験結果を基にベンチ試験機を製作し、ベンチ試験機の試験結果を基に更に改良を重ね、プロトタイプ機を製作した。プロトタイプ機を用いた試験は実用機における運転データ取得、実排気サイトにおける実証試験を主たる目的としている。プロトタイプ機のフローシートを図 A-(3)-3 に示す。主にオゾン発生部、VOC 処理部、酸素回収部の 3 つのパートからなる。オゾン発生原料としての酸素生成用 PSA (pressure swing adsorption) の付設、未使用酸素回収用 PSA の新たな設置等、VOC 処理装置の周辺機器の充実を図った。オゾン発生部は PSA とオゾン発生器から成り、PSA に導入された空気は酸素濃度が高められてからオゾン発生器に導入されるため、高効率にオゾンを発生させることができる。また酸素回収部では、これも PSA で未使用の酸素を回収する。回収された酸素はオゾン供給部へ戻すことにより酸素の有効利用が可能となり、装置の経済化を図ることができる。また本装置の中軸となる VOC 処理部は 2 塔式処理装置とした。

各塔ごとに 2 ステップの操作とし、第 1 ステップで処理対象物質含有空気を吸着塔下部より導入し処理対象物質を吸着させ、第 2 ステップでは逆に塔上部よりオゾン含有空気を導入し吸着剤に吸着されている処理対象物質を分解する。2 塔式であるため処理対象物質の吸着とオゾンによる吸着剤の再生を交互に行うことが可能で、このことにより見かけ上は連続的に排気処理することができる。なお、吸着塔の再生時に塔下部より流出するガスは、もう一方の吸着塔に導入される処理対象排気に合流させて吸着塔に導入することとし、系外への処理対象物質の流出を最小限にする工夫を施した。このような試験装置を用い、出口でのオゾン及び炭化水素濃度を追跡した。

分析 オゾンの測定には紫外吸光度計（東京光電製）、炭化水素濃度の計測には炭化水素計 HCM-1B（島津製作所）を使用した。

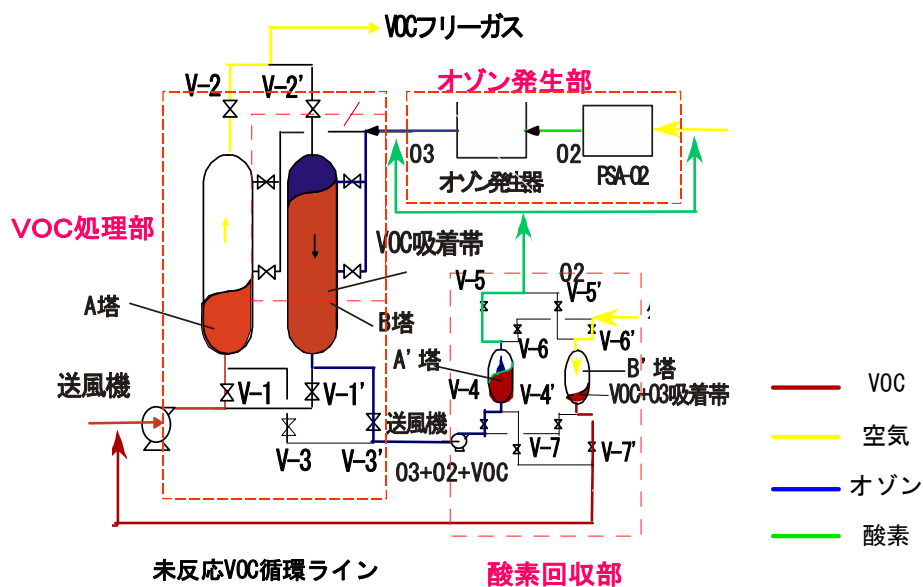


図 A-(3)-3 排気処理用プロトタイプ機フローシート

【排水処理】

本研究開発では以下のようなⅠ. 小型カラム試験、Ⅱ. プロトタイプ機試験を主に実施した。

Ⅰ. 小型カラム試験

試験装置及び方法 ①最適吸着剤の選定、②本処理の有効性の実験的検証（吸着処理単独、オゾン処理単独、吸着相オゾン酸化処理の比較）、③物質収支と反応機構の解明などの基礎現象の把握を目的としている。また、反応解析数理モデルを作成し、実験結果の工学的解析を行った。図 A-(3)-4 に小型カラム試験装置のフローシートを示す。オゾン水溶液と処理対象物質水溶液を予め混合し、一定流速で吸着剤担持ハニカムに流通する。カラム出口のオゾン濃度、有害有機物濃度を追跡した。

分析 オゾンの測定にはインジゴ吸光度法を実施し紫外吸光度計 UV-1600（島津製作所製）を用いた。アセトアルデヒドの分析には HPLC LC-6A（島津製作所製）（分離カラム：SH1011（昭和電工製）、検出器：示差屈折検出器 RID-6A（島津製作所製））を使用した。

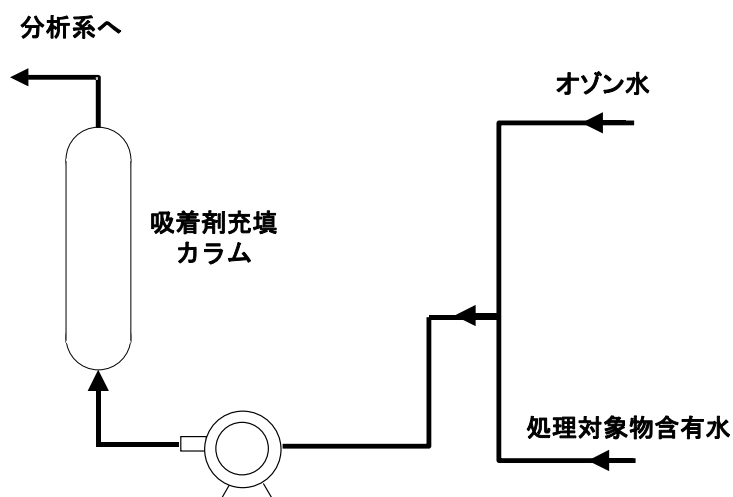


図 A-(3)-4 排水処理用小型カラム試験装置

Ⅱ. プロトタイプ機試験

試験装置及び方法 小型カラム試験結果を基にプロトタイプ機を設計し、運転データの取得、実排水サイトでの実証試験を目的とする。図 A-(3)-5 にプロトタイプ機のフローシートを示す。

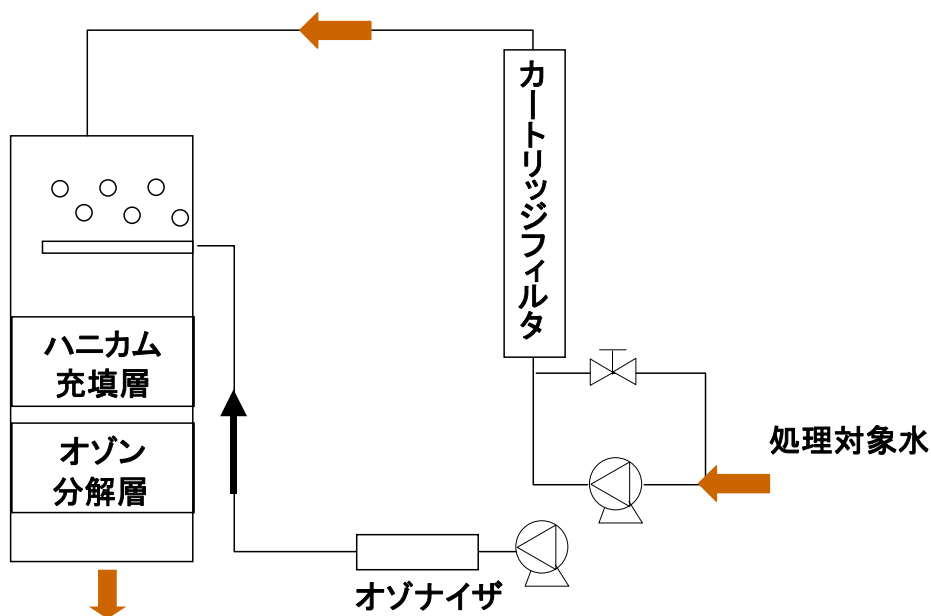


図 A-(3)-5 排水処理用プロトタイプ機フローシート

分析 オゾンの測定にはインジゴ吸光度法を実施し紫外吸光度計 UV-1600（島津製作所製）を用いた。アセトアルデヒドの分析には HPLC LC-6A（島津製作所製）（分離カラム：SH1011（昭和電工製）、検出器：示差屈折検出器 RID-6A（島津製作所製））を使用した。

研究結果と考察

【排気処理】

小型カラム試験

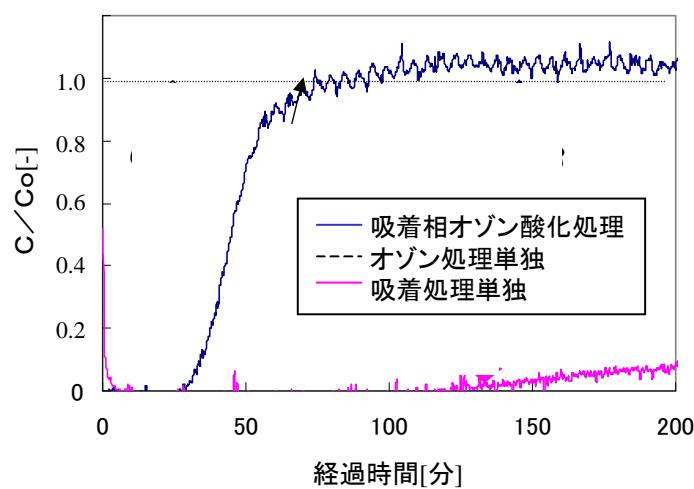
吸着剤の選定 研究の第一歩として、キシレンおよびトルエンを処理対象物質とした場合の候補吸着剤のスクリーニングを行った。候補吸着剤としてシリカライト、USY、USM、ベータ (β)、メソポーラスシリカ MCM-41 の 5 種類を用いた。スクリーニング方法として、オゾン(濃度 [ppm]:100)と処理対象物質(濃度 [ppm]:100)を吸着剤ハニカム充填カラムに流通し(SV [h^{-1}]:48000)、カラム入口の処理対象物質濃度に対する出口の処理対象物質濃度(相対濃度 C/C_0)を測定した。この結果、相対濃度 C/C_0 はキシレンを処理対象物質とした場合、シリカライト、USY、USM、 β 、MCM-41 でそれぞれ 0.75、0.25、0.47、0.42、0.42 であった。一方でトルエンを処理対象物質とした場合、相対濃度 C/C_0 はシリカライト、USY、USM、 β 、MCM-41 でそれぞれ 0.62、0.56、0.52、0.45、0.92 であった。従って処理対象物質の流過率から推測されるオゾンと処理対象物質の反応活性は、キシレンの場合、 $USY > \beta > MCM-41 > USM > シリカライト$ の順であり、トルエンの場合 $\beta > USY > USM > シリカライト > MCM-41$ であることがわかった。

シリカライトのオゾン吸着能は他の吸着剤と比較して圧倒的に優れていることが既に先行研究により明らかとなっているが、この結果から反応には吸着による吸着剤細孔へのオゾン濃縮だけでなく、他の様々な因子が見かけの反応に大きく影響を与えることが示唆された。具体的には細孔の窓径が相対的に大きいゼオライト β 及び USY の反応活性が高く、シリカライト、USM など細孔窓径がトルエン、キシレンの大きさに近接している吸着剤での反応活性が低いことから、処理対象物質の吸着速度が見かけの処理対象物質の分解速度に大きく影響していることも予測される。(一般的な知見として、吸着剤の細孔窓径が吸着分子より十分に大きい場合には吸着速度は大きく、細孔窓径に吸着分子の大きさがほぼ等しい場合には吸着が不可能となったり、吸着しても吸着速度が著しく小さくなることが知られている。) なお、反応活性因子、反応機構、反応経路などの詳細については、選定吸着剤を用いた実験で明らかにする。

以上の結果、キシレン用吸着剤として USY、トルエン用吸着剤として β が最適なことがわかった。しかしながら、開発装置はトルエンおよびキシレン両方に対応できるような汎用性を持たせることが望ましく、従って吸着剤もトルエンおよびキシレンの両方に対応できるものを選定することとした。実際トルエン用吸着剤においては USY の反応活性は最適吸着剤である β と比べて殆ど遜色なく、キシレン用吸着剤として USY の性能は圧倒的である。従って今後研究はトルエン、キシレン両方に対して USY を吸着剤として使用する。

本処理の有効性調査（吸着処理単独、オゾン処理単独、吸着相オゾン酸化処理の比較）

USY を吸着剤として選定し、吸着処理単独、オゾン処理単独、吸着相オゾン酸化処理の比較（SV、オゾン濃度、VOC 濃度等全て同条件）を行った。処理対象物質としてトルエンを用いた。図 A-(3)-6 にその結果を示す。吸着相オゾン酸化処理は吸着と酸化反応が伴う複雑な反応機構を示すが、吸着と酸化反応をある程度分離して考えることができる。



(実験条件) 温度 70°C、SV24000h⁻¹、トルエン濃度 100ppm、
オゾン濃度 400ppm (Case1, 2)、0ppm (Case3)

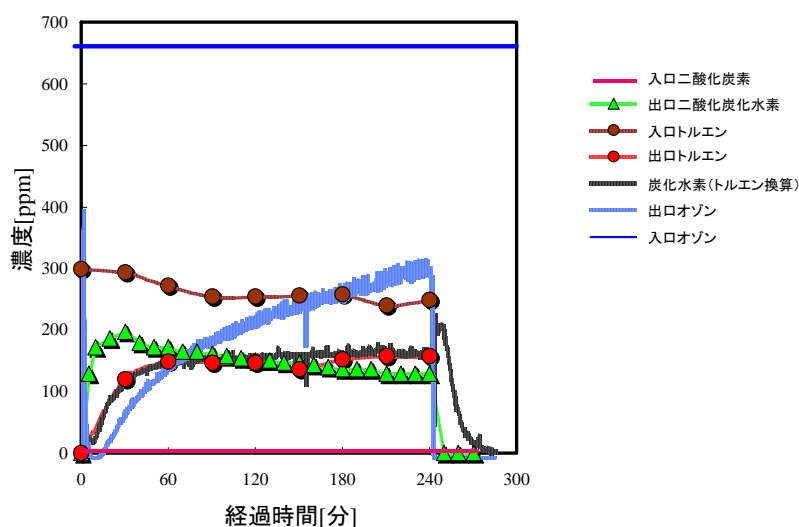
図 A-(3)-6 吸着相オゾン酸化処理 (Case1)、オゾン処理 (Case2)、
吸着処理 (Case3) の炭化水素流過特性

Case1、Case2、Case3 はそれぞれ吸着相オゾン酸化、オゾン処理単独、吸着処理単独でのカラム出口炭化水素（出口/入口相対濃度）の経時変化を示す。Case2 の結果は、オゾンとトルエンはバルク気相中で反応することとなり、その反応速度は著しく小さく、SV=24000hr⁻¹（単位時間当たりの体積流量/吸着剤充填体積）（反応時間に換算して 0.15 sec）程度ではトルエンは殆んど分解されないことを示している。また、Case3 の結果は、吸着処理単独では初期 30 分程度は除去効率が常にほぼ 100%と高いものの、30 分以降は徐々に初期の除去性能は失われ最終的には 60 分程度で吸着剤が飽和に達する様子を示している。このことは吸着平衡関係からの予測と一致する。それに対し、Case1 が示す吸着相オゾン酸化（本開発技術）の結果は、初期除去効率がほぼ 100%と著しく高い上、その除去効果がより長期に渡って持続することが示された。具体的には破過点（ここでは流過率 5%と定義）に達する時間は、吸着処理単独の場合と比較して 5 倍程度伸ばすことができた。更に適切な SV、オゾン/トルエン比を設定することで除去効率や除去効果持続時間の増大が可能である。以上から、通常のおゾン処理単独プロ

セスに比べ著しく必要なオゾン量を減じることができ、また吸着処理単独プロセスに比べ吸着剤の量を著しく減らせ著しくコンパクトな処理方法であることが言える。

ただし、流過した成分について GC-MS で定性・定量したところ、流過する炭化水素成分はほぼ全てトルエンであり、カラム入口より流入したトルエンが未分解のまま流過したものと考えられた。吸着処理 (Case3) でトルエンが全て流過する時間が過ぎても、吸着相オゾン酸化処理ではほぼ 100% の除去率を保ち、その後徐々に未分解のトルエンが流過する点を考えれば、吸着剤が何らかの原因で徐々に劣化する可能性が示唆された。

物質収支 上記結果より吸着剤劣化の可能性が示唆された。吸着剤に副生成物が蓄積し、それが劣化（触媒被毒）の原因となっている可能性もあるため、カラム入口からの全炭素流入、カラム出口からの全炭素流過、カラム内への全炭素蓄積を測定し、物質収支をとった。700ppm のオゾン、300ppm のトルエンを吸着剤ハニカム装填カラムに 4 時間流通し、その後オゾン及びトルエンの供給を止め純酸素により残留トルエン等脱着できる成分は全て脱着させた。この際カラム入口のトルエン濃度、オゾン濃度、二酸化炭素濃度、カラム出口のトルエン濃度、オゾン濃度、炭化水素濃度、二酸化炭素濃度を追跡した。その結果を図 A-(3)-7 に示す。オゾンのみを流通した場合、本 SV では数十秒程度で 100% オゾンが流過してしまうにもかかわらず、本実験では始め全くオゾンが流過しない時間が 15 分程度続き、その後徐々にオゾンが流過し始めた。この結果も吸着剤がバージンの状態ではオゾンとトルエンの反応が十分に進むものの、吸着剤の劣化が進み徐々に反応活性が失われることを示唆している。

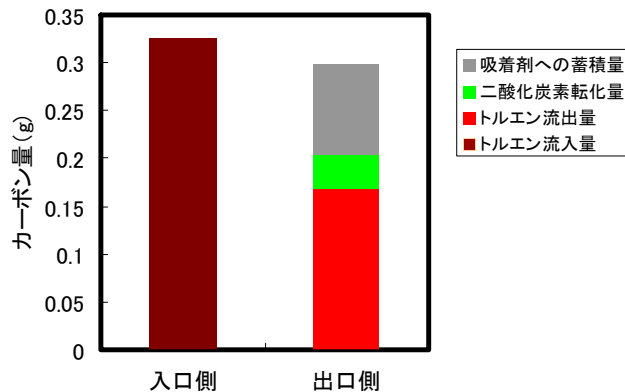


(実験条件) 温度 : 70°C、SV : 5000h¹、

トルエン濃度 : 300ppm、オゾン濃度 : 700ppm

図 A-(3)-7 各成分の濃度プロファイル

また図 A-(3)-7 の結果から炭素収支を整理した結果を図 A-(3)-8 に示した。カラムに流入した炭素に対し、90%以上の炭素をカラム出口、及びカラム内より検出することが



v

(実験条件) 温度 : 70°C、SV : 5000h^l、

トルエン濃度 : 300ppm、オゾン濃度 : 700ppm

図 A-(3)-8 カラム入口成分、出口成分、カラム内蓄積成分の炭素収支

できた。このことから、カラムに流入した炭素成分の行方について殆ど分析漏れはなく、また出口より流過する炭化水素成分はほぼ全てトルエンであることから、有害な副生成物のカラム出口からの流過は殆どないと言える。(つまりカラム出口からは二酸化炭素のみが排出し、副生成物の炭化水素成分は全てカラム内部に留めておくことができる。)

しかし、これは生成した副生成物の炭化水素成分は強吸着成分であることを示しており、やはり吸着剤への反応副生成物の蓄積が劣化を引き起こすことが強く示唆された。(なお、トルエンは事前の予備実験により可逆的に吸脱着することは確認済みであり、最後に酸素による脱着時間を十分設けているため蓄積成分はトルエンではない。)つまり、副生成物が強吸着成分であることで、カラム外部に漏れることはないが吸着剤の劣化を導くと言える。キシレンにおいても同様なことが言えた。しかし、劣化吸着剤の熱再生で吸着剤性能は100%回復することが別途の実験から明らかとなり、また吸着処理単独よりも吸着剤の寿命が著しく長いことを鑑みれば、熱再生を適切に取り入れることにより本処理技術は実用化できると判断できる。吸着・分解サイクルと熱再生サイクルを適切に設定・設計できるツールを作成することが必須であり、これについては次項で詳しく述べる。

反応モデルによる反応劣化解析 カラム内に球状吸着剤を充填しオゾンとトルエンを流通した場合の反応シミュレーションモデルを作成した。なお、以下のような仮定をする。

(a) カラム内に流入した処理対象物質 (VOC) は、1. 原体のまま吸着される、2. 原体のまま出口より流出する、3. 蓄積成分 (P) となって吸着剤内に蓄積する、4. 二酸化炭素に転化するかのいずれかであり、式 (A) のように総括的な簡易化学反応式に書ける。



また、蓄積成分 P は生成後、常に留まるものとする。

(b) 反応劣化解析を行うために、劣化を表現する関数として劣化表現関数 f を仮定する。関数 f は吸着剤への蓄積成分 P の蓄積量 q_P に関する単調減少関数であるとし、後述する式 (8) のような関数形を仮定した。

(c) オゾン及び処理対象物質 (VOC) は流体中の流れ、粒子・流体間境膜内での拡散、粒子内の細孔中での拡散、活性点での反応の一連の物質移動と反応をする。

以上のような仮定に基づき、物質収支式を立てると以下のような式 (1) ~ (7) が成立する

$$\varepsilon \frac{\partial C_{O_3}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{O_3}}{\partial z} + k_{f,O_3} a_v (C_{O_3} - C_{O_3,s}) = 0 \quad (1)$$

$$\varepsilon \frac{\partial C_{VOC}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{VOC}}{\partial z} + k_{f,VOC} a_v (C_{VOC} - C_{VOC,s}) = 0 \quad (2)$$

$$k_{f,VOC} a_v (C_{VOC} - C_{VOC,s}) = D_{VOC} \left(\frac{\partial C_{VOC}}{\partial r} \right)_{r=R_o} \quad (3)$$

$$k_{f,O_3} a_v (C_{O_3} - C_{O_3,s}) = D_{O_3} \left(\frac{\partial C_{O_3}}{\partial r} \right)_{r=R_o} \quad (4)$$

$$\rho_s \frac{\partial q_{O_3}}{\partial t} = D_{O_3} \left(\frac{\partial^2 C_{O_3}}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial C_{O_3}}{\partial r} \right) - f(q_p) \eta_1 k C_{VOC} C_{O_3} \quad (5)$$

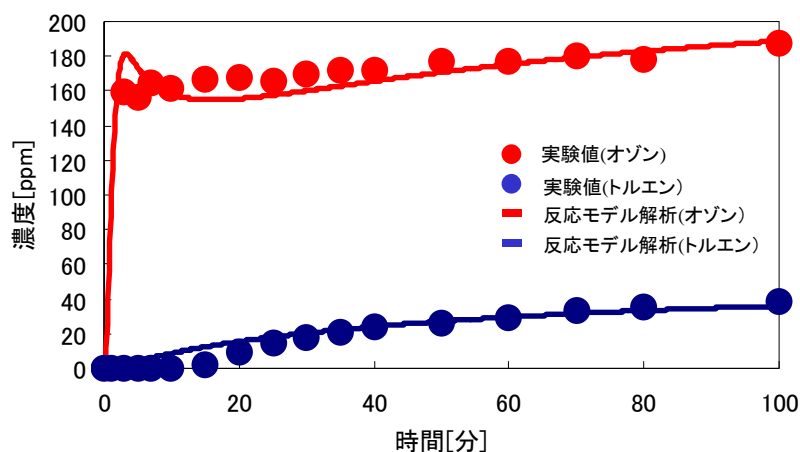
$$\rho_s \frac{\partial q_{VOC}}{\partial t} = D_{O_3} \left(\frac{\partial^2 C_{VOC}}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial C_{VOC}}{\partial r} \right) - f(q_p) k C_{O_3} C_{VOC} \quad (6)$$

$$\rho_s \frac{\partial q_p}{\partial t} = f(q_p) \eta_2 k C_{O_3} C_{VOC} \quad (7)$$

$$f(q_p) = \exp(-k_p q_p) \quad (8)$$

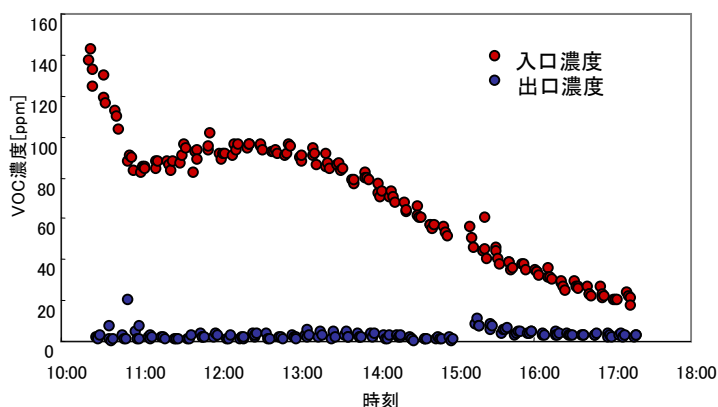
なお、式 (1) はカラム内でのオゾンの物質収支、式 (2) はカラム内での処理対象物質 (VOC) の物質収支、式 (3) は処理対象物質 (VOC) の吸着剤-流体間境膜での物質収支、式 (4) はオゾンの吸着剤-流体間境膜での物質収支、式 (5) はオゾンの吸着剤粒子内での物質収支、式 (6) は処理対象物質 (VOC) の吸着剤粒子内での物質収支、式 (7) は蓄積成分の吸着剤粒子内での物質収支である。

この反応解析数理モデルを、実験結果に対して図 A-(3)-9 のようにフィッティングすることにより、反応速度定数 k 、劣化速度定数 k_p 等、必要なパラメータを算出した。図 A-(3)-9 の実験値と計算値の比較から分かるように、ここでの反応解析数理モデルは良好に実験結果を記述できた。すなわち、この数理モデルは実機の設計と操作条件の設定等に対して非常に有効なツールであると言える。例えば、実機の運転条件 ($SV: 2000\text{hr}^{-1}$ 程度) では、実験によって吸着剤の劣化を把握するには膨大な時間を要し、運転条件ごとに吸着・熱再生プロセスを実験により明らかとするのは難しい。しかしながら、このツールでの予測と加速試験 (高 SV での実験) を行うことで、吸着・再生プロセスの設計とその最適運転条件の設定が可能となる。



(実験条件) 使用吸着剤 : 150~300 μm 粉砕ペレット、
 $SV : 2,000,000\text{h}^{-1}$ 、オゾン濃度 225ppm、トルエン濃度 50ppm
 図 A-(3)-9 各成分の濃度プロファイル及び反応モデル解析

実サイトでの実証試験 図 A-(3)-10 に東洋インキ顔料製造工場排気サイトでのプロトタイプ機実証試験の結果を示す。本サイトでの VOC 成分はほぼ 100%キシレンである。ここで長期運転での吸着剤の劣化も念頭に置き、模擬排ガス（キシレン）にて 2 ヶ月間連続運転を行いながらも全く吸着剤の再生を行わず、ある程度吸着剤の劣化が進んだ状態で本サイトでの実証を行った。この結果、7 時間程度の運転期間の間、常に除去率 90%程度を達成した。従って少なくとも本装置は 2 ヶ月程度、吸着剤の熱再生を要せず連続運転できることが示された。



(実験条件) オゾン濃度 : 2000ppm、サイクルタイム 30min、温度 70°C

図 A-(3)-10 実排気サイトでの実証実験結果の一例

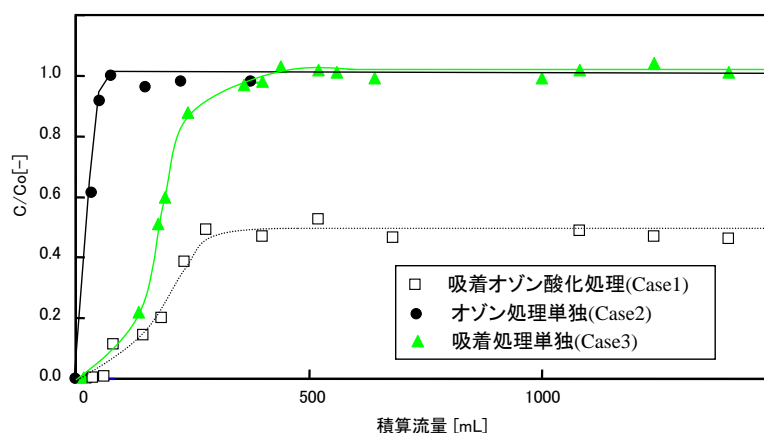
コスト試算及び適用範囲（波及効果） 現在、処理容量で 10m³~100m³/h、VOC 濃度で 10~100ppm 程度を想定し開発を行っており、装置コストの試算結果、100~400 万円程度である。本技術の開発が成功することにより、本技術は大型化することについては容易な技術であるため、事業終了後の実用化スケールアップで展開しうる適用範囲として処理容量として 30000m³/h 程度まで想定可能である。

【排水処理】

吸着剤の選定 研究の第一歩としてトリクロロエチレン、アセトアルデヒドを処理対象物質としたときの候補吸着剤のスクリーニングを行った。候補吸着剤としてシリカライト、USY、USM、ベータ (β)、メソポーラスシリカ MCM-41 の5種類を用いた。スクリーニング方法として、排気処理の場合と同様にオゾン (濃度 [mg/L] : 10) と処理対象物質 (濃度 [mg/L] : 10) を吸着剤ハニカム充填カラムに流通し (SV [h^{-1}] : 180)、入口の処理対象物質濃度に対する出口の処理対象物質濃度を測定しカラム内でのオゾンと処理対象物の反応活性を見た。この結果、計測された出口の入口に対する相対濃度 C/C_0 はトリクロロエチレンを処理対象物とした場合、シリカライト、USY、USM、 β 、MCM-41 でそれぞれ 0.14、0.82、0.33、0.46、0.24 であった。一方でアセトアルデヒドを処理対象物とした場合、計測された相対濃度 C/C_0 はシリカライト、USY、USM、 β 、MCM-41 でそれぞれ 0.37、0.39、0.38、0.40、0.40 であった。従って、処理対象物の流過率から推測されるオゾン-処理対象物物質の反応活性は、トリクロロエチレンの場合、シリカライト > MCM-41 > USM > β > USY の順であり、アセトアルデヒドの場合いずれの吸着剤を用いてもほぼ遜色ない性能を示した。排水処理においても排気処理の場合と同様、見かけの反応に様々な因子が絡み合い影響していることが予測されるが、ここもあくまで使用吸着剤のスクリーニングを目的とし、その反応活性因子、反応機構、反応経路などの詳細には立ち入らない。以上の結果、トリクロロエチレン用吸着剤としてシリカライト、アセトアルデヒド用吸着剤としては候補吸着剤全てが有効であることが示唆された。しかしながらやはり様々な処理対象物質に対応できるような汎用性を有する製品の開発が望ましく、従って吸着剤もトリクロロエチレン、アセトアルデヒドの両方に対応できるものを選定することとした。実際トリクロロエチレン用吸着剤、アセトアルデヒド用吸着剤として伴にシリカライトが最適である。従って以後の実験では、シリカライトを吸着剤として選定することとした。

本処理の有効性 シリカライトを使用吸着剤として選定し、排気処理の場合と同様に吸着処理単独、オゾン処理単独、吸着相オゾン酸化処理の比較を行った。処理対象物質としてアセトアルデヒドを選定した場合を一例として図 A-(3)-11 にその結果を示す。Case1、Case2、Case3 はそれぞれ吸着相オゾン酸化、オゾン処理単独、吸着処理単独の小型カラム試験でのカラム出口アセトアルデヒド (出口/入口相対濃度) の経時変化を示している。Case2 の結果はオゾンとトルエンはバルク気相中では反応速度が著しく小さく、本実験条件では殆んどアセトアルデヒドは分解されないことを示している。また Case3 の結果はシリカライト担持ハニカムによる吸着除去単独では積算流量 300ml 程度で吸着剤が完全に破過している。これに対し、吸着相オゾン酸化では排気処理の場合とは異なり、徐々に流過し始める時間はほぼ同じものの、処理効率が5割程度で定常的に処理できていることがわかる。また、オゾン濃度、SV 等の運転条件、ハニカムの最適

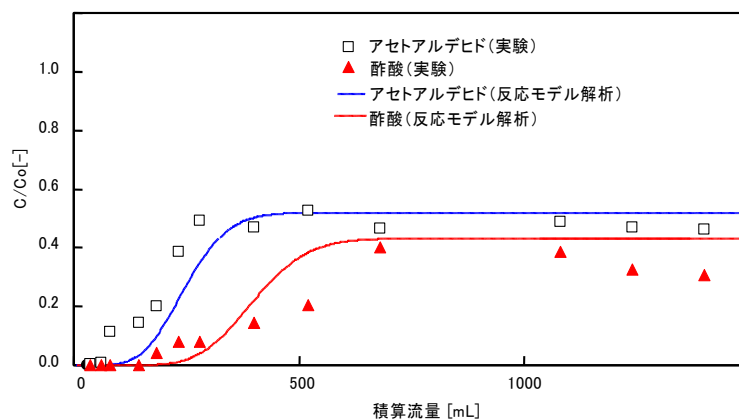
化を図ることにより、吸着相オゾン酸化の処理効率はさらに上げることができよう。



(実験条件) SV : 6、オゾン濃度 7 mg/L、アセトアルデヒド濃度 12 mg/L

図 A-(3)-11 吸着相オゾン酸化処理 (Case1)、オゾン処理 (Case2)、
吸着処理 (Case3) のアセトアルデヒド流過特性

物質収支 排気処理と同様、生成物の定性、定量を行った。その結果を図 A-(3)-12 に示すが、アセトアルデヒドは 7 割～8 割程度酢酸に転化され、カラム出口より流過していることが分かった。排気処理の場合、より強吸着成分が生成されそれが吸着剤に蓄積することで吸着剤の劣化が進むのに対し、排水処理 (処理対象物質: アセトアルデヒド) の場合、より弱吸着成分である (より水溶性の) 酢酸が生成し、速やかに脱着するため吸着剤の劣化はなく定常的な処理が可能である。トリクロロエチレンの処理についても、反応が著しく速やかに進行する上、1mol のトリクロロエチレンの分解に対し 3mol の塩素イオンの剥離を検出し、ほぼ完全に無機化していることを確認している。従ってこちらも定常的な処理が可能である。なお酢酸は生物易分解性のため、後段に生物処理を設置 (生物処理は安価で設置可能) することで容易に無機化することができる。



(実験条件) SV : 6、オゾン濃度 7ppm、アセトアルデヒド濃度 12ppm

図 A-(3)-12 各成分の濃度プロファイル及び反応モデル解析

反応モデル解析作成と必要パラメータ取得 排気処理の場合と同じ仮定に基づき、数理モデルを作成した。基礎式を以下に示す。

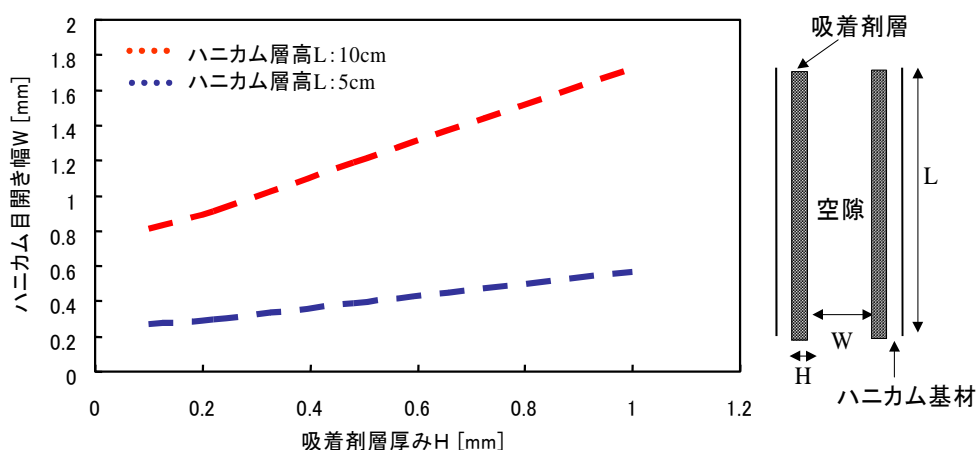
$$u \frac{\partial C_{b,M}}{\partial z} = -N_A \quad (9)$$

$$N_A = k_F a_V (C_{b,M} - C_{i,M}) = -D_{e,M} a_V \left. \frac{\partial C_{a,M}}{\partial x} \right|_{x=l} \quad (10)$$

$$D_{e,M} \frac{\partial^2 C_{a,M}}{\partial x^2} - \varepsilon_i K C_{a,M} C_{a,O} = \rho_s \frac{\partial \bar{q}_M}{\partial t} \quad (11)$$

式(9)はカラム内での物質収支式、式(10)はバルク流体-吸着剤間境膜での物質収支式、式(11)はハニカム担持吸着層内での物質収支式を示している。この反応解析モデルを実験結果に対して図 A-(3)-12 のようにフィッティングし、反応速度定数K等、必要なパラメータを算出した。フィッティング結果は良好であり、最適な吸着槽の設計等が可能となった。

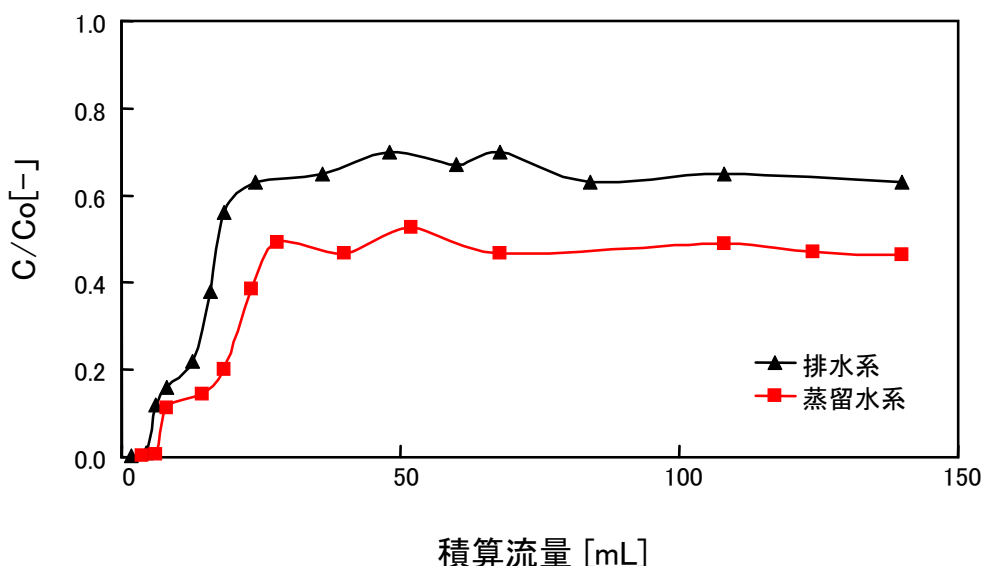
反応速度のハニカム構造依存性 得られたパラメータを用い処理性能のハニカム構造依存性を調べた。この結果の一例として、アセトアルデヒド 80%分解に必要なハニカム上の吸着剤層の厚みとハニカム目開き幅の関係を図 A-(3)-13 に示す。この結果、吸着剤の担持量をより増大させること、ハニカムの目開きを小さくすることでハニカム層高の大幅な低減、つまりは大幅なSVの増大が可能で、本装置の有効性を著しく向上可能である。このことは同時に現在の使用ハニカムでの見かけの反応速度はアセトアルデヒドが吸着剤細孔内に至るまでの拡散に大きく律されていることを示している。今後、ハニカム構造をより密にする、もしくはハニカム吸着剤にこだわることなく、充填量が大きく充填構造を密にでき、市販されている一般的なペレット吸着剤を使用すれば、本技術が実用化できると言える。



(条件) オゾン濃度 7 mg/L、アセトアルデヒド濃度 2 mg/L、流通線速度 1cm/min

図 A-(3)-13 アセトアルデヒド 80%除去に必要な吸着剤層厚み H

実排水を用いた実験 図 A-(3)-14 に東京大学生産技術研究所試作工場排水を用いた実験の結果を示す。なお本サイトでは 30000mg/L もの DOC(dissoluble organic carbon) が含有されており、その排水中のアセトアルデヒド濃度 25ppm になるようアセトアルデヒドを添加し、その排水を処理することで実排水中でのアセトアルデヒド処理効率を調べた。比較のため、蒸留水系で実験を行った場合も示す。この結果、30000mg/L もの DOC を含むにもかかわらず、蒸留水系と比較して殆ど除去性能が低下しないことが示された。(定常状態での除去性能は蒸留水系で 5 割程度、実排水で 4 割程度。) 排水性状を調べたところ、分子量分画 6000 超の高分子有機物が多く、しかも殆どオゾン消費しないことが別途の実験から分かった。つまり、DOC 成分は細孔孔径に比べ分子サイズが大きな成分が支配的であり、細孔内への侵入が不可能なため、これらの DOC 成分による影響を受けることなく反応が有効に進行したものと推察された。従って本技術は、実排水の性状を把握して、前述の数理モデルによる処理の予測と、適切な前処理・後処理の組み合わせを考えることで、実用化されると思われる。



(条件) アセトアルデヒド濃度 25 mg/L、オゾン濃度 12 mg/L、SV6h⁻¹

図 A-(3)-14 実排水サイトでの実証実験 (蒸留水系との比較)

コスト試算及び適用範囲 (波及効果) 現在までの実験結果を基に試算した、表 A-(3)-1 に各オゾン濃度、処理容量毎のコスト試算を行った。また、この試算を基に現在、図 A-(3)-15 に本装置の適用範囲をバックグラウンド TOC、処理容量について整理した。現在、処理容量で 2m³/day、処理対象有機物 10 mg/L 程度を想定し開発を行っているが、事業終了後の実用化スケールアップで展開しうる適用範囲としてバックグラウンド TOC 濃度 70 mg/L、処理容量 1~5m³/day 程度を想定可能である。

表 A-(3)-1 濃度、処理容量毎のコスト比較

対象物質濃度 COD 換算値	(mg/L)	100	50	10
容量	(ton/day)	2	2	2
装置本体(ハート)コスト	(万円)	276	170	55
吸着剤コスト	(万円)	0.8	0.8	0.8
オゾン発生器コスト	(万円)	90	56	18
装置費(車上渡し)	(万円)	368	227	74
オゾン発生器消費電力	(kW)	0.45	0.22	0.04

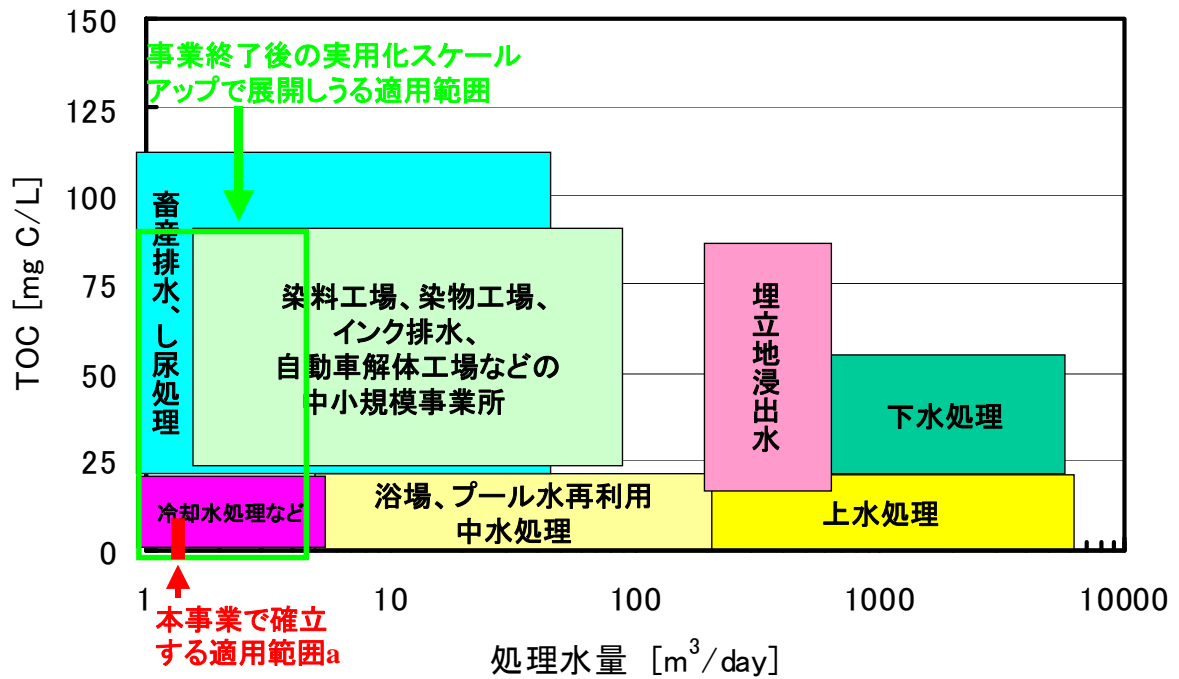


図 A-(3)-15 本装置の適用範囲及び今後の波及効果

結言

1. 排気処理および排水処理の双方において、吸着相オゾン酸化処理は、オゾン処理単独、もしくは吸着処理単独と比べて、処理対象物質の除去に有効であり、省スペースかつ低コストの装置を実現し得ることを実験的に実証した。

2. 本開発プロセスに用いる吸着剤のスクリーニングを行い、排気処理用吸着剤（主としてトルエン及びキシレン用）として USY を、排水処理用吸着剤（主としてアセトアルデヒド及びトリクロロエチレン用）としてシリカライトを最適吸着剤として選定した。

3. 排気処理および排水処理の双方において、処理対象物質の装置出口濃度の経時変化と物質収支を明らかにし、これを記述する数理モデルを構築した。

排気処理においては、処理ガスの中には処理対象物質の原体が流出することはあっても、副生成物等の流出は検知されなかった。また、9割以上の炭素収支が取れ、導入された処理対象物質は、①原体のまま流過、②分解して二酸化炭素になり流過、③分解副生成物となり吸着剤に蓄積のいずれかであることが明らかとなった。そして、これらを解析する数理モデルとそのパラメータ値の決定を完了し、これまでの実験結果を良好に記述できた。なお、検討の過程で、分解副生成物の吸着剤への蓄積は反応活性劣化を引き起こすことが明らかとなった。しかし、この吸着剤の反応活性劣化は熱再生で性能を100%回復させることができる。また吸着処理単独よりも吸着剤の寿命が著しく長く、吸着剤交換の手間・コストを大幅に削減できるため、熱再生による若干のコストアップはあっても、トータルではランニングコストの低減は可能であり、本処理技術は十分実用化できる。

排水処理においては、処理対象物質は定常的に処理できることがわかった。トリクロロエチレンにおいてはほぼ無機化が確認された。アセトアルデヒドについては、一部は完全分解には至らず酢酸に転化するが、無害化はしている。これらの現象も、排気処理の場合と同様な数理モデルにより、良好に記述できた。分解副生成物の処理を含め、適切な前処理・後処理（生物処理等）との組み合わせを視野に入れた実用化が考えられる。

ここで構築した数理モデルは、実機的设计と操作の決定に有効なツールとして、平成18年度活用される。

4. 実排気・排水を対象としたプロトタイプ機による実証実験でも（短期間の実験ではあるが）、吸着相オゾン酸化技術の特長は確認できた。今後、長期運転データを取得するとともに、上述の3.、及び長期運転における吸着剤再生の最適条件の検討を行い、その結果を反映させて、平成18年度中に実機設計を行う。

2-A-(4) 「マイクロバブルの圧壊による有害化学物質の高効率分解技術の開発」

プロジェクトリーダー：(社)産業環境管理協会 常務理事 指宿堯嗣
実施企業 株式会社REO研究所 (独)産業技術総合研究所

(1) 目標の達成度

産総研における実験室レベルでの基礎試験研究とREO研究所におけるベンチスケールプラントを利用した実排水処理試験を平成16、17年度に行い、1)マイクロバブル圧壊によるフリーラジカル(ヒドロキシルラジカル、OHなど)の生成の確認、2)高濃度マイクロバブルの発生(2000個/ml)と高効率な圧壊を実現する装置の開発、3)オゾンマイクロバブル圧壊によりフェノールの分解が進むことを確認、4)フェノールを含む実排水の処理が可能であることを確認し、フェノール分解量の目標値を達成するシステムを明らかにするとともに、システムの自動制御に関する知見を得た。その他2つの対象物質(*N,N*-ジメチルホルムアミド、トリクロロエチレン)について検討が遅れていること、フェノール実排水処理データの解析(排水成分と処理速度の相関、白色沈殿の生成など)が十分でないこと、分解生成物の未確認、などがあり、現時点での目標達成度は8割程度と考えられる。2つの対象物質について実験方法は分かっており、実験の加速を図ることで解決できる。

本研究開発の最終目標である実排水処理システムの試設計については、実施企業によるエンジニアリング展開により達成できると考えている。具体的には、フェノール模擬排水を用いてオゾンマイクロバブル高濃度発生-圧壊によるフェノールの分解の化学工学データ(分解速度の気液流量比、オゾン-フェノール濃度比、反応温度、pHなどの依存性など)を取得し、オゾン利用効率の高い反応条件、反応器構造などを決定する。これらのデータに基づき最適化した装置を現場に設置し、各種BOD、COD物質が共存するフェノール実排水の処理実験を行う。フェノール分解率、BOD、COD値の減少、オゾン利用効率、分解生成物の分析測定などのデータを取得、解析することで、実規模での排水処理システムを試設計する。システムの大きさ、建設、運転に必要なコストを見積もることで、他の水処理技術(活性汚泥法などの生物処理法、オゾン曝気法などの物理化学的処理法)によるシステムと比較し、本技術の優位性を検討するとともに、他の方法と組み合わせた実用的な水処理方法を提案する。

(2) 成果の意義

PRTR対象物質などを含む工場からの排水処理技術を確立するための実用化研究である。現在、多くの有機系排水は主に活性汚泥法により処理されているが、化学工業、繊維工業、プラスチック製造業などの事業所からの排水には、有害性があり、微生物による分解性が小さい化学物質が含まれることがあり、その処理は容易ではない。このため、排水基準をクリアーするために排水を大量の水で希釈している事業所、排出基準の低い下水道に放流している事業所や有害化学物質を意図的に気化して散逸させている事業所も存在している。BOD、COD、N、Pの総量規制強化などに見られるように、国、地方自治体は排出基準を厳しくしており、各種産業において多くの事業所が経済的に妥当な排水対策技術を求めている。この様な状況において、本事業で開発している

マイクロバブルの圧壊による有害で難分解性の化学物質を含む排水の処理が実用化されれば、国内外において大きな市場を手にするのみでなく、世界に誇れる水処理技術として環境対策に大きな貢献が期待できる。

マイクロバブルの圧壊という方法は、気液の接触効率が非常に高く、もっとも酸化力の強いヒドロキシルラジカル(OH)等を水中で効率的に発生できる特徴をもつ、世界初の国産技術である。OHと反応する全ての有機系化学物質を対象とすることができ、難分解性の化合物を含む排水の処理、着色排水の処理、さらに上水などの処理においても利用できる汎用性に優れた技術である。水処理に本技術が適用できることを示した成果は、投入された予算に十分に見合うものと考えられる。

(3) 特許の取得

マイクロバブルの圧壊に関する基本特許はプロジェクト実施以前に出願済みである。この2年間は基礎試験が中心であったため、特許化に比重を置いてこなかった。今後、水処理技術という応用面での特許取得を考えていく。

(4) 論文発表・成果の普及論文の発表

論文発表という形ではまだ不十分なレベルであるが、年度ごとの成果に示すように、様々な学協会、工業会での特別講演、プレス発表を多数行ってきた。その結果として、多くの企業から本技術について問い合わせを受けており、メールや電話、直接の面談を通して、本技術の意義を説明し、実用化に向けた普及に努めている。

1. 研究概要

本事業は、化学物質のリスク削減に資するエンドオブパイプ対策（排出工程での対策）に関連して、効率的で汎用性が高く、実用性に優れた環境負荷物質の分解技術に関する研究開発を行うことを目的とする。具体的には、超微小気泡（マイクロバブル）を効率的に圧壊させることにより生じる大量のフリーラジカルを利用して有害化学物質を効率的に分解する技術の開発を行う。

「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律」に基づくPRTR制度の導入や化審法（化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律）の改正などに伴い、化学物質の製造や取り扱いなどにおいて、環境への負荷低減を前提とした適切な管理が強く求められている。その中において、化学工場を始めとした固定排出源における化学物質管理を促進するため、中小企業を含む事業所等が自主的に有害化学物質を回収及び無害化処理するための技術開発が不可欠な課題となっている。

本事業では、処理対象水中にマイクロバブルを大量に発生させ、これを水流循環の中で効率的に圧壊させて発生する多量のフリーラジカルを利用して、中小企業でも利用可能な汎用性が高くかつ処理効率やコストの面で優れた有害化学物質の削減技術の開発を進める。

対策優先度の高い有害化学物質の大部分に適応可能な汎用性の確保を目指すものであるが、3年間の期間中における具体的な対象物質として、優先的に取り組むべき削減対象物質

の上位20物質に含まれ、工場排水での処理が問題となっているフェノールと*N,N*-ジメチルホルムアミド、及び地下水汚染を引き起こしているトリクロロエチレンを選定し、これらの排水基準を満たすレベルまで処理できる技術開発を行う。表A-(4)-1に示すように、選択した物質はPRTR対象物質として重要であるばかりではなく、異なる化学的性質と用途をもっており、本技術の広範な応用を考える上にこれらの3物質の検討は意義が高い。これらの有害化学物質を含む排水を効率的に処理できる連続システムを一つのユニットとして設計試作して実験を行い、エンジニアリング展開を経て、実用化展開に結びつける。

表 A-(4)-1 削減対象物質に関するデータ

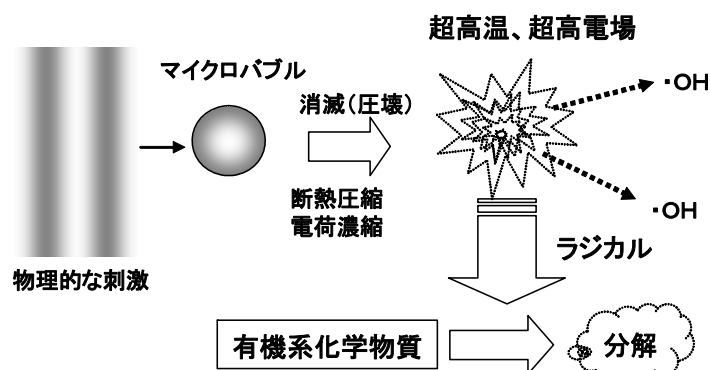
化学物質	種類/用途	国内生産量 (t)	PRTR データ (2002)						
			No.	届出移動量 (t)	順位	届出排出量 (t)	順位	大気への排出 (%)	排出業種・備考
フェノール	芳香族化合物 / 樹脂・合成原料	891,000	266	2,647	21	623	33	98	窯業・土石製品製造業、非鉄金属製造業、輸送用機械器具製造業、化学工業、プラスチック製品製造業
<i>N,N</i> -ジメチルホルムアミド	含窒素化合物 / 溶剤、ガス吸収剤	50,000	172	8,189	6	5,217	8	88	化学工業、繊維工業、電気機械器具製造業、ゴム製品製造業
トリクロロエチレン	有機塩素化合物 / 洗浄剤、溶剤、抽出剤	72,000	211	8,351	23	6,048	7	100	金属製品製造業、輸送用機械器具製造業、プラスチック製品製造業、電気機械器具製造業、鉄鋼業

経済産業省、平成14年度PRTRデータ集計結果(2004)、環境省、化学物質の環境リスク評価第2巻(2003)などによる。

本事業で開発する技術は、世界で始めて確認したマイクロバブルの圧壊による多量のフリーラジカル発生現象を基礎としている。マイクロバブルは気泡径50 μ m以下の超微細気泡であり、2相流せん断方式などにより、ここ5年程度前より技術が一般にも利用できるようになってきている。マイクロバブルの特徴は自己加圧効果と特異な表面電位特性であり、その特徴を利用して閉鎖水域における貧酸素水塊の水質改善や水中の懸濁有害物質の浮上除去などへの利用が検討されてきた。

マイクロバブルには気泡径に反比例した自己加圧効果がある。気泡径が小さいほど内部圧力が高く、それに比例して気体の溶解能が高くなり、この結果として、小さな気体ほど急速に縮小し、原理的に内部圧力が無限大に高まって消滅する。ただし、マイクロバブルを単純に放置したのみでは、内部圧力は高まっても、内部温度の増加には至らない。マイクロバブルに物理的な刺激を与えることで縮小速度を急激に高めると断熱圧縮過程となり、バブル消滅の瞬間に超高圧で超高温のホットスポット(極限反応場)が形成される。これにより周囲に存在する水などの分子が分解され、ヒドロキシルラジカル(OH)などのフリーラジカルが発生する。この現象は水中への超音波照射においても確認されているが、マイクロバブルの場合には、超高温領域の形成に加えて、気泡自身の持っている表面電荷の微小領域への濃縮が起こるために、超高電場での複合作用となる。その結果、超音波照射では達成不可能なレベルの多量のフリーラジカル生成が可能である。その基本メカニズムを図A-(4)-1に示

す。



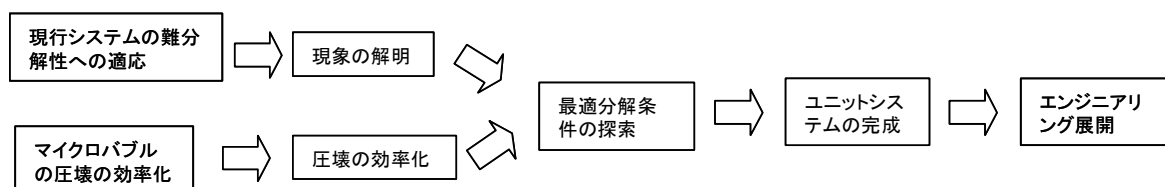
図A-(4)-1 マイクロバブルの圧壊と有害化学物質の分解

このマイクロバブルを短時間に収縮消滅（圧壊）させる技術を確認し、圧壊によって生成するフリーラジカルを有害化学物質の分解に利用することが、本事業の目的である。物理的な刺激としては瞬間的な加圧場の形成が有効であり、流動場にオリフィスなどの抵抗体を挿入し、この抵抗体をマイクロバブルが通過する時に生じる圧力刺激によって、マイクロバブルを高い効率で圧壊できる見通しを得た。

本研究開発では、産業技術総合研究所は主に基礎的な部分を、REO研究所は実用化に関連した応用的な部分を担当し、両者が連携して、プラスチック加工業、金属加工業、化学品製造業、繊維工業などの事業所排水中に含まれる有害化学物質をマイクロバブルの圧壊技術により、高効率で無害化分解処理が可能な経済性に優れた小型なシステムを開発する。そのため、下記の研究開発項目を実施する。

1) マイクロバブルの圧壊による排水中有害化学物質の高効率分解処理システムの開発

超音波によるフリーラジカル発生に対して、消費エネルギー当たりの発生量が100倍程度である低濃度型マイクロバブル発生・圧壊方法（平成16年度時点の方法）を改良して1,000倍以上に高めることにより、経済性のあるコンパクトな排水処理システムを実現する。研究開発の内容を以下に述べるとともに、そのフローを図A-(4)-2に示す。



図A-(4)-2 排水中有害化学物質分解システムの研究開発フロー

具体的な研究開発課題

- ① コンパクトな構成でかつ省エネルギーな大量のフリーラジカルを生成するマイクロバブルの圧壊技術を確立する。
- ② マイクロバブル圧壊により、化学工場などからの排水に含まれる対象化学物質を分解処理

できることを確認する。

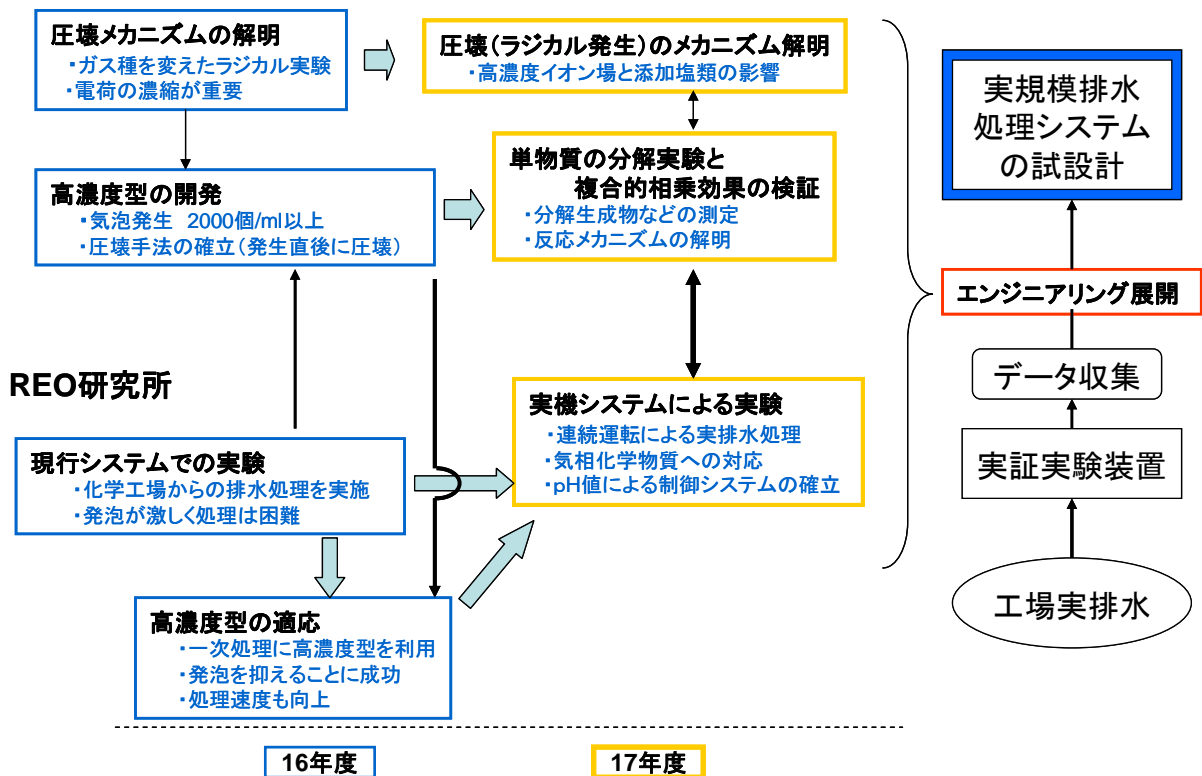
③ 上記の要素技術をベースとして、排水処理のユニットシステムを設計、試作する。対象とする有害化学物質は、フェノール、*N,N*-ジメチルホルムアミド及びトリクロロエチレンの3物質とし、これらについて、表A-(4)-2に示す分解量、分解率を設定し、ユニットとしての性能を評価する。確立されたユニットをベースにして、化学工学データの取得とそれらの解析によって装置、処理システムを最適化し、実排水の処理実験（実証試験）を行う。最終的には、化学工場などの実排水処理システムの試設計を行う。

表A-(4)-2 排水中の処理対象物質と目標とする性能

化学物質名	フェノール	<i>N,N</i> -ジメチルホルムアミド	トリクロロエチレン
処理濃度 (mg/L)	300	300	100
処理水量 (m ³ /h)	0.6	0.6	0.6
原物質の分解率 (%)	90%以上	90%以上	90%以上

本研究開発の全体スケジュールを図A-(4)-3に、年度展開を以下に記載する。

産業技術総合研究所



図A-(4)-3 研究開発の年度展開

① 1年度目（平成16年度）

基本要素技術であるマイクロバブルの圧壊の効率化を進めるとともに、現行の技術を利用

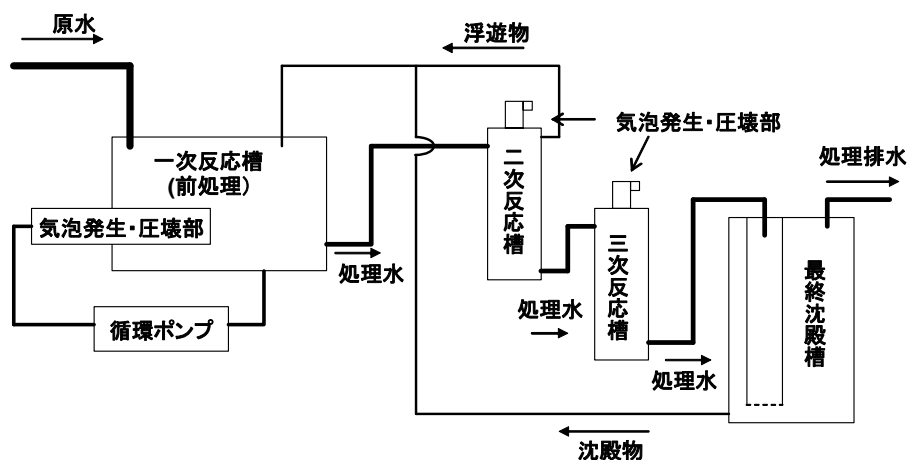
して対象とする有害化学物質の分解実験を行った。これにより現行技術の課題を明確にする
とともに、反応の機構を解明することで実用化に向けた分解反応の高効率化を図った。マイ
クロバブルの圧壊は渦流下での圧縮と膨張が鍵となるため、流速やパンチング板の孔径が圧
壊に与える影響を定量的に評価し、その効率化を検討した。また、圧壊による有害化学物質
の分解にはフリーラジカルが大きく関与しているため、分解に作用する主要フリーラジカル
種の特定を行うとともに、そのラジカル種を増加させるための工夫を行った。

② 2年度目（平成17年度）

初年度の成果を反映させた処理システムを利用してベンチスケールレベルでの実験を実
施した。産業技術総合研究所においてはフェノールなどの単物質の分解実験を実施すること
により、本手法の特徴を明確にした。また、圧壊の作用についてより深い考察を加えた。一
方、REO研究所においてはベンチスケールレベルの連続処理システムを構築して、実排水
を対象としてデータを蓄積した。

今後の展開

今後は実用装置、システム開発のためにエンジニアリング展開を想定している。フェノー
ル模擬排水を用いてフェノール分解の化学工学データ（分解速度の気液流量比、オゾンフ
ェノール濃度比、反応温度、pHなどの依存性など）を取得し、オゾン利用効率の高い反応条
件、反応器構造などを決定する。これらのデータに基づき最適化した装置を現場に設置し、
フェノール実排水の処理実験を行う。フェノール分解率、BOD、COD値の減少、オゾン利用効
率、分解生成物の分析測定などのデータを取得、解析することで、実規模での排水処理シ
ステムを試設計する。他の水処理技術（活性汚泥法などの生物処理法、オゾン曝気法などの物
理化学的処理法）によるシステムと性能、コストなどを比較し、本技術の優位性を検討する
とともに、他の方法と組み合わせた実用的な水処理方法の提案を行う。なお、システムの完
成予測図を図A-(4)-4に示す。



図A-(4)-4 システムのフローダイアグラム

2. 研究方法、研究結果および考察(いくつかの研究から成り立つため、項目ごとにまとめた)

2-1. マイクロバブル発生効率の向上

a) 研究方法

初年度の研究により高濃度マイクロバブル圧壊法を完成させたが、全体システムのコンパクト化を図るためには可能な限り高濃度なマイクロバブル発生が鍵となる。そこで新しい流体力学計算法である格子ボルツマン法(LBM)を用いた数値実験(コンピュータシミュレーション)を行い、もっとも効率的にマイクロバブルを発生するための詳細な構造について検討するため、一様なせん断応力が作用する3次元の流れ場に浮かぶ気泡を模擬した液滴の変形および分裂現象を調査した。

b) 結果と考察

せん断応力の強さ、液滴の数密度(液滴間距離)および初期配置を変化させた数値実験を行った結果、(1)液滴数密度が増加すると、同じせん断応力の強さに対して変形や分裂は起こりにくくなる、(2)同じ液滴の直径と数密度の条件でも、初期配列によって液滴の分裂が起こったり逆に抑制されたりする、(3)多数の液滴を分裂させるには、各気泡を異なるせん断断面上に配置して変形を促進させる必要がある、等が明らかになった。これらの知見から、微細気泡発生装置の最適化設計指針として、高効率で多数の微細気泡を生成させるためには、

(1)気体注入ノズル(=気泡の初期配置場所)の数を増やす、(2)ノズルをそれぞれ異なるせん断応力面(主流方向に対して異なる高さの位置)上に配置する、(3)座標の回転移動により分裂しない気泡配列(例:Case(A))は分裂する配列(例:Case(B))へ変更できることから、せん断と回転(旋回)を組み合わせた液体の渦によるスパイラル運動によって気泡の相対位置を適度に変化させて気泡分裂を促進させる、等が確認された

以上により、高濃度なマイクロバブルを発生させるためには可能な限り大量の気体を効果的に分断させ必要がある。従来から、その試みが図られてきており、様々な種類のノズルが開発されている。我々も旋回流を利用したマイクロバブル発生用のノズルを開発し、気泡濃度として2,000個/mL以上のマイクロバブルを発生させることに成功した。本研究成果をベースとしてノズル自体は同様のものを利用しながら、そこに至る気体の供給形態を工夫することによって、より高濃度(3,000個/mLレベル)のマイクロバブルを安定して発生させる方法を確立できると考えている。

2-2. マイクロバブルの効率的圧壊技術の確立

a) 研究の方法

本技術開発の最大の特徴はマイクロバブルの圧壊を利用することである。そこで圧壊技術の確立を図るため圧壊のメカニズムについて検討を行った。特に圧壊によってフリーラジカルの生成に至る機構について明確化した。具体的には、スピントラップ剤としてDMP0(5,5-ジメチル-1-ピロリン-N-オキシド)を利用して、マイクロバブルの圧壊によって発生するフリーラジカルを電子スピン共鳴法により解析した。

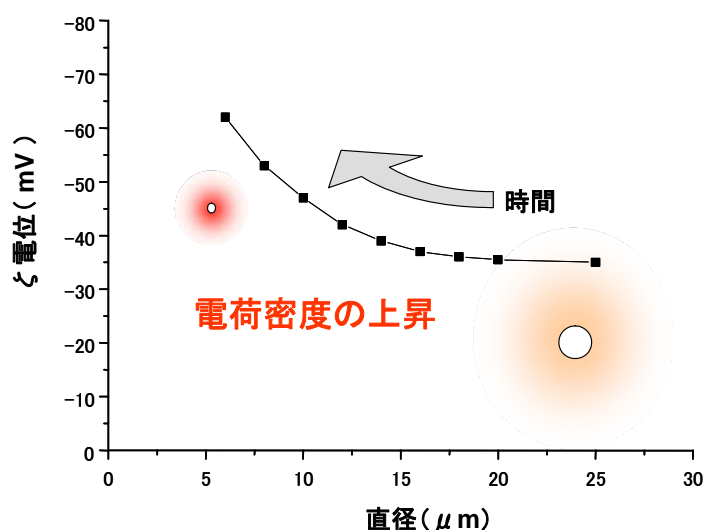
b) 結果と考察

スピントラップ剤を含む蒸留水 3L に酸素マイクロバブルを 10 分間流通したものを電子スピン共鳴法で測定した結果を図 A-(4)-5 に示す。測定されたラジカルはヒドロキシルラジカルに帰属できるものであった。図 A-(4)-5 の下のスペクトルはオゾンを含む空気を 10 秒間、マイクロバブルとして 30L の水に供給し、圧壊したときに得られたものであり、非常に短時間で OH が生成したことがわかる。なお、接触時間を長くすると、この吸収は観察されず、大量に発生する OH によってスピントラップ剤が分解されるためと推定された。



図 A-(4)-5 (上) 蒸留水 3 L に 10 分間、酸素マイクロバブル (低濃度型) を流通・圧壊させて生成するラジカル、(下) 10 秒間オゾンマイクロバブル流通圧壊の場合、(1:2:2:1 のピーク OH に帰属できる)

マイクロバブルの自然圧壊によるフリーラジカルの生成は、この発生メカニズムが超音波に見られたような断熱圧縮による超高温度場の形成に伴うものとは異なることを示している。自然圧壊の場合、収縮速度は超音波に比べて著しく遅く、断熱圧縮過程を想定することは明らかに不可能である。そのためフリーラジカルの発生に結びついた極限反応場としては高温域以外の現象で説明せざるを得ない。



図A-(4)-6 気泡の自然圧壊時におけるゼータ電位の変化

マイクロバブルの自然圧壊によるラジカル発生を考える上で参考となるのがマイクロバブルの表面電荷の変化である。一つの気泡のみに注目した場合に、気泡径が小さくなるほど縮小速度も増加することを先に示したが、 ζ 電位についてもやや異なった様相がわかる。すなわち、気泡の電位は一定の値から動かないのではなく、気泡が小さくなるに従って ζ 電位の値も急激に増加する。

気泡のゼータ電位は単位面積当たりの電荷数に比例している。そのため、図A-(4)-6に認められるようなゼータ電位の増加は気液界面の単位面積当たりの電荷濃度が急激に増加していることを反映している。水中において電荷はイオンによってもたらされる。そのため、このような現象は次のように解釈することが出来る。すなわち、気液界面にはバルクに比べてより多くのイオン類が集積している。マイクロバブルの圧壊にともない、気液界面の面積が急激に減少したときに、界面のイオン類は過剰になる。過剰になったイオン類はバルク中に拡散するため、図A-(4)-6において、気泡径が $20\mu\text{m}$ よりも大きい条件下での縮小では、その縮小速度が小さいため、電荷の上昇は認められない。気泡が小さくなるほどにその縮小速度も大きくなるが、それと同時に界面における電荷の密度も非常に大きくなる。このことは界面におけるイオンのバルク中への拡散速度はあまり大きなものではなく、気泡の縮小速度が増加した場合、逃げ切れなくなったイオン類が界面に濃縮することを示唆している。すなわち、圧壊の瞬間には極めて高濃度なイオン場がマイクロバブル周辺に形成される。

マイクロバブルの圧壊は気泡が水中で完全に消滅する現象を示している。気液界面での電荷（イオン）は界面の存在により形成されているため、圧壊により気液界面が消滅すると極めて高濃度に濃縮したイオン群が瞬時に解放される。このことがラジカルの生成につながっている可能性が考えられる。つまり、電荷が濃縮して蓄えられたエネルギーが瞬時に解放されるときに、フリーラジカルとして放出されると解釈できる。

2-3. 複合的相乗効果の解明

a) 研究の方法

マイクロバブルの圧壊を利用した排水処理の大きな特徴の一つは、排水が多成分であるほど処理が進みやすいことである。分解反応を促進する媒体としてはイオン類や発生するラジカル種を変化させるような要因物質が考えられるが、複雑な現象であることが予測される。そのため、単物質の分解について調べ、複合的相乗効果の誘導因子の解明の基礎資料とする。

実験では蒸留水にフェノールを添加して1mM（フェノール濃度として94 ppm）の溶液を作り、これを模擬排水として分解実験に使用した。排水処理の目的は、単にフェノール単体を分解することではなく、水中に存在している有機成分を除去して環境負荷を低減することである。そのため、まずマイクロバブルの圧壊で有機系成分をどの程度除去できるかを検討した。試験に利用した装置は我々が開発した高濃度型マイクロバブル発生装置である。実験ではオゾンを含むガスをマイクロバブルとして供給しながらこれを圧壊させた（オゾンの供給量として1時間当たり5 g：約100mmolオゾン）。

時間経過に合わせて採取した試料をただちに全有機炭素計（TOC計）および液体クロマトグラフにより分析した。

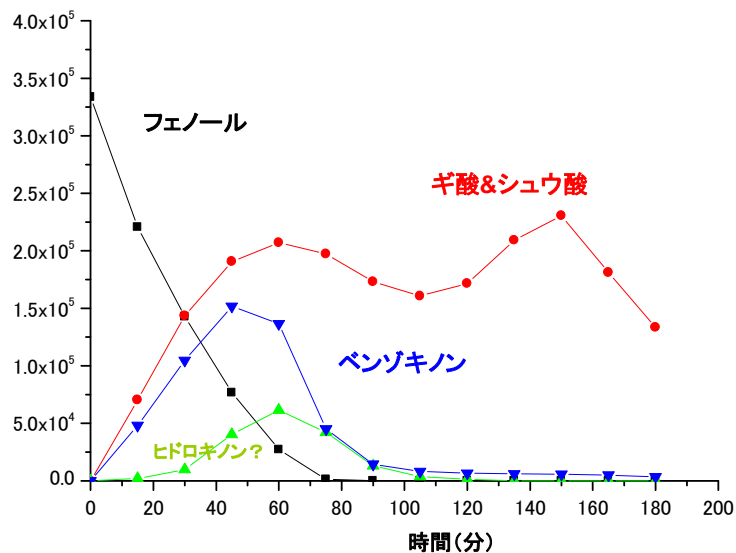
b) 結果と考察

試験結果を図A-(4)-7に示す。この試験ではサンプル水量を約30 L（フェノール量として約30mmol）でスタートし、逐次、試料を採取しながら、液体クロマトグラフにより中間成分などを分析した。測定時に利用した移動相（溶離液）は、10mMリン酸（ナトリウム）緩衝溶液（pH=2.6）であり、リン酸二水素ナトリウム二水和物（M. W. =156.01）5mmol（0.78g）とリン酸（85%, 14.7 mol/L）5mmol（0.34mL）に蒸留水を加えて全量1Lとして作成した。

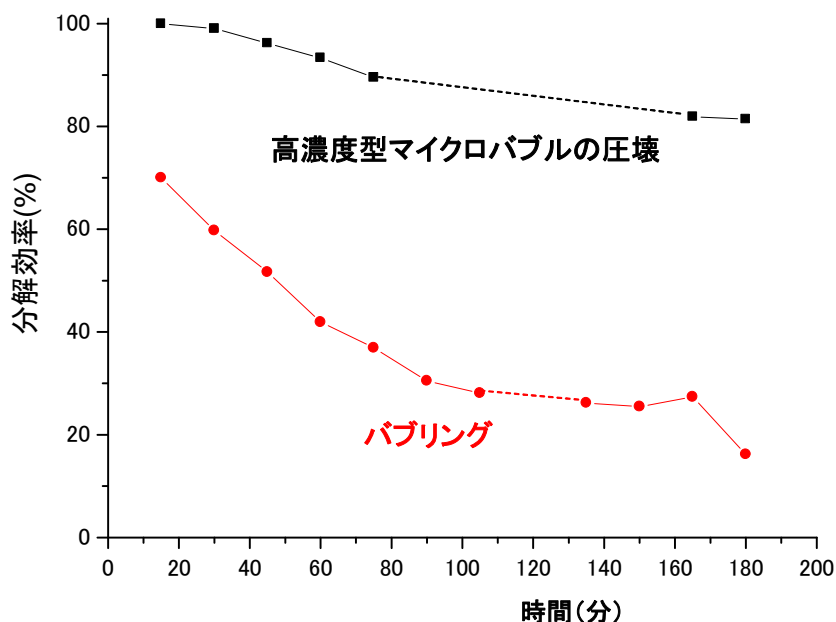
試験開始から80分程度でフェノール自体は、ほぼ完全に分解した。すなわち、約30 mmolのフェノールが供給したオゾン（1時間に約100mmol）バブルによって分解されたことになる。反応の中間生成物として、ベンゾキノンやヒドロキノン（?）、ギ酸、シュウ酸が見いだされた。本分析法ではギ酸とシュウ酸を区別できなかったが、最初にギ酸が生成され、次にシュウ酸になると考えられた。なお、3時間で実験を終了しているが、全有機炭素（TOC）計のデータから、シュウ酸もほぼ完全に分解していくものと考えられた。また、比較実験としてオゾン曝気によるフェノール単体の分解実験を実施した。その結果、中間生成物の種類は同じであり、フェノール分解自身に関与したメカニズムはオゾンマイクロバブルの場合とほぼ同様と考えられた。

エンジニアリング展開の観点からは、使用したオゾンのどれくらいの割合が有効に働いたかを知ることが重要である。そこで排ガス中のオゾン濃度をオゾン計により連続計測し、供給したオゾンのどれくらいの割合が分解（消費）されたかを調べた。その結果を図A-(4)-8に示す。オゾンを含むガスをマイクロバブルとして供給し圧壊させた場合、反応初期にはほぼ100%のオゾンが消失している。時間の経過とともに分解効率は減少するものの、最低でも約80%が有効に使用されていることが明らかになった。これに対して、オゾンを単純にバブリング、供給した場合、反応初期には約70%程度が分解されていたが、時間とともにその値は低下し、反応の中間期以降においては30%以下の低い値となった。オゾンはフェノールと高い反応性をもつが、ベンゾキノンなどの中間生成物等との反応性は低く、オゾンが分解されずに気相に放出される

ためと推定された。オゾン処理は通常、pH6~8で分解効率が高いが、今回の実験では酸の生成によると思われるpHの低下があり、その影響でオゾン利用効率が低下した可能性もある。マイクロバブルの圧壊の場合にも同様なpHの低下は認められたものの、分解効率は高い水準を維持していた。



図A-(4)-7 フェノール（単体）およびその分解時に得られた中間物質の経時変化



図A-(4)-8 マイクロバブル圧壊及び通常バブリング時におけるオゾンの分解効率

pHが低い条件 (pH<3.5) においても、高いオゾン利用効率を示すという事実は、マイクロバブルの圧壊が単純なオゾン曝気とは異なることを意味している。pHが低い条件でこのような高

い分解率は、促進酸化法として紫外線（UV）などと併用しても容易に実現されない値である。

2-4. マイクロバブルの圧壊を利用した実排水処理実験

a) 研究の方法

本研究の最大の目的は、マイクロバブルの圧壊による排水処理技術を確立し、既存の技術では対応が困難とされるような化学工場などからの排水を処理する技術として実証することである。プロジェクト実施以前の技術レベルとしては、食品加工工場からの排水についてはマイクロバブルの圧壊により処理可能であった。食品加工工場に設置した水処理施設に対する公的検査機関による抜き打ち検査の結果、処理水のBODとして1.7mg/Lの値が得られた。この工場からの原排水はBODとして2000~3000mg/Lであり、SSが300~400mg/L、ノルマルヘキサン抽出物が約800mg/Lである。従来、この排水は活性汚泥法で処理されていたが、脂質分や多く、また原材料にカレー粉などを利用しているため、微生物の活性が不十分であり、排水基準を達成できない場合があった。マイクロバブルによる処理システムを導入したのは5年程度以前であり、それ以降、排水基準を十分に満たしている。

食品加工工場で使用した低濃度型のマイクロバブル発生・圧壊装置によりフェノール工場からの排水を処理したところ、図A-(4)-9に示すように、多量の泡沫が発生し、かつその泡沫は機械的な衝撃でも除去できない結果となった。このため、平成16年度に開発した高濃度マイクロバブル発生装置と気泡発生直後にこれを圧壊させる手法を適用したところ、図A-(4)-10に示すように、発泡を抑制することができ、マイクロバブル発生・圧壊によるフェノール等を含む排水処理技術の見通しが得られた。



図A-(4)-9 低濃度型による排水処理（異常な発泡）



図A-(4)-10 高濃度型による排水処理（発泡の抑制が実現）

b) 結果と考察（ベンチスケール実験装置による実排水の処理）

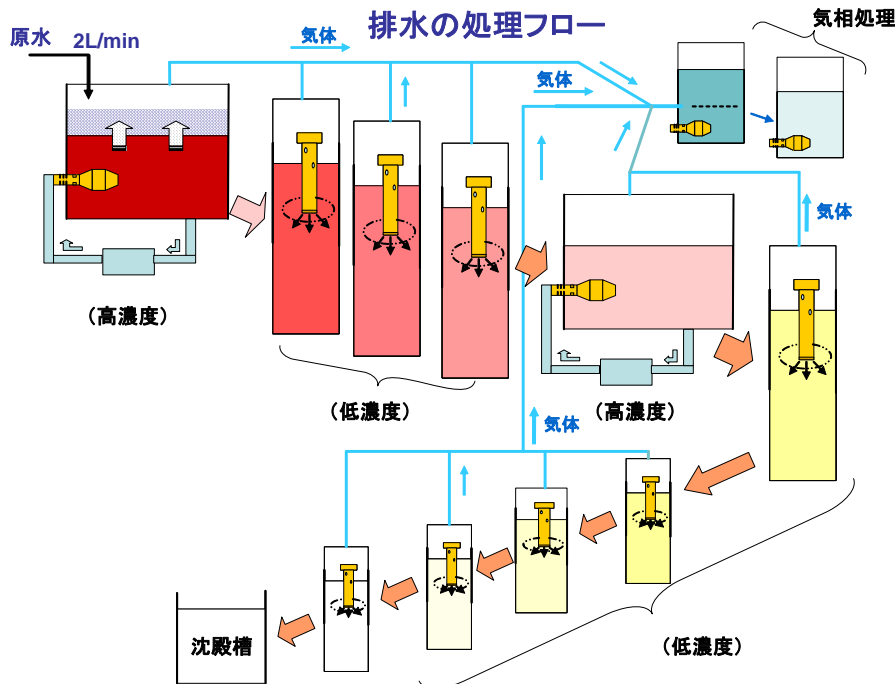
実規模により近い条件で実験を行うことを目的に、連続的な実排水処理を検討するために、図A-(4)-11に示すユニットを設計、製作した。

原水タンク	供給量	2L/min (120 L/h)			
前処理槽	(高濃度型)	500 L	オゾン量	10g/h	4.2h
1次処理槽	(低濃度型)	400 L x3	オゾン量	45g/h	10 (14.2)h
中間処理槽	(高濃度型)	500 L	オゾン量	10g/h	4.2(18.4)h
2次処理槽	(低濃度型)	400 L	オゾン量	15g/h	3.3(21.7)h
3次処理槽	(低濃度型)	80 L x4	オゾン量	20g/h	2.7(24.4)h

原水供給量は2L/minであり、システムに入った原水が最終処理を終えて出てくる時間がほぼ24時間後となる。この条件で処理したときの結果を表A-(4)-3に示す。対象物質であるフェノール（初期濃度22 ppm）は前処理の段階でほぼ分解された。前処理槽500Lに存在するフェノール量は約0.1molであり、a)で示した実験室データに基づくと、約0.33mol（15g）のオゾンで分解されることになる。この反応システムでは、4.2時間に供給されたオゾン量は約40gであり、この間にフェノールがほぼ全量分解され、かつ、TOCが30%以上減少したことは妥当な結果と考えられる。前処理以降、有機成分全体の濃度を示すTOC、さらにBOD、CODも減少していくが最終的にゼロにはならない結果であり、この実験条件ではBODをゼロとすることはできなかった。

表A-(4)-3 フェノール含有実排水の処理結果

	単位	原水	前処理	1次処理	中間処理	2次処理	3次処理
BOD	mg/L	2900	1500	830	750	560	560
COD	mg/L	3800	2100	1700	1600	1100	880
フェノール	mg/L	22.0	1.1	1.7	<0.5	<0.5	<0.5
TOC	mg/L	2500	1600	1300	1200	1100	750



図A-(4)-11 実排水処理実験に用いたユニットのフロー

本実験結果から、下記の重要なポイントを指摘することができる。

- ・ 経時的に処理が進んでいる

水処理の能力を見る場合に、有機物の分解が滞ってしまうのか、順調に進むかは非常に重要である。TOCの値は時間とともに低下しており、このような物質を含む排水に対しても十分に適応可能と判断される。

- ・ 通常のおゾン処理と異なる変化

このような複合的な排水をオゾン曝気処理すると、CODは減少しても、TOCが減少するとは限らない。また、COD成分が可溶化するため、むしろBOD値が急激に増加する傾向を示すことも希ではない。今回の処理においては全ての指標値が低下している。

- ・ 活性汚泥法の前処理として利用可能である

BOD値、TOC値ともに減少しているため、生物に対する負荷が減少している。そのため、活性汚泥法の前処理として有効に活用できる。

なお、3次処理の段階で相当量のTOCが残っているように見えるが、処理時間として24時間程度で7割程度も減少していることは非常に優れた処理能力であると考えられる。

また、この処理法の特徴の一つとして、固体成分の析出がある。表A-(4)-3の値はこの浮遊固相を含んだ値であるが、固相には下記のような成分が含まれており、固体成分を分離することで、処理水のCODをさらに低下できることがわかった。

元素定量分析 N : 0.1420 (%)
C : 22.3637 (%)
H : 9.1095 (%)

3. 結言

化学工場などからの難分解性化学物質を含む排水をマイクロバブルの圧壊作用により処理する技術の開発を行った。産総研が基礎的な部分を、REO研究所が実用的な部分を主に実施した。それにより以下の成果が得られた。

- ・ 格子ボルツマン法 (LBM) を用いた数値実験 (コンピュータシミュレーション) を行い、もっとも効率的にマイクロバブルを発生するための詳細な構造について検討した。その結果、高効率で多数の微細気泡を生成させる物理的要素が明らかになった。
- ・ 旋回流を利用したマイクロバブル発生用のノズルを開発し、気泡濃度として 2,000 個/mL 以上のマイクロバブルを発生させることに成功した。
- ・ マイクロバブルの圧壊によるフリーラジカルの発生メカニズムとして、圧壊によって気液界面が消滅する時に、極めて高濃度に濃縮したイオン群が瞬時に解き放たれるモデルを提唱した。
- ・ オゾンマイクロバブルを強制圧壊させて発生するラジカルを同定するために、DMP0でトラップした溶液をESRで測定し、OH (ヒドロキシルラジカル) の発生が確認できた。
- ・ フェノール単体の分解試験を実施し、中間物質としてベンゾキノンやギ酸、シュウ酸などの生成を確認した。これらの中間物質はオゾンの単純バブリングでも同じであったが、そのフェノール分解速度は3倍以上であった。フェノール分解のスキームは、オゾンマイクロバブルの圧壊とオゾン曝気とほぼ同様と推定された。
- ・ オゾンマイクロバブルの圧壊では供給したオゾンの80%以上が消費されていた。一方、オゾン曝気では、反応初期は約70%程度の効率であったが、その値は反応が進むとともに急速に低下し、30%以下の低い値となった。
- ・ フェノール工場からの実排水を用いた実験より、実用化の点から見て重要な結果が得られた。すなわち、経時的に処理が進むことが確認され、このような物質を含む排水に対しても十分に適応可能な技術であることがわかった。また、BOD、COD、TOCともに時間とともに低下し、生物処理に対する負荷が低減することがわかった (オゾン曝気処理では、COD成分の可溶化によるBOD成分への変換が起こる場合がある)。活性汚泥法の前処理方法として活用が期待できる。

- ・ 実用上の使用を想定して、原水の負荷を増やすとともに、経時的に負荷を変動させた実験を行ったが、処理排水中の有機物量は相応の変動は見せながらも安定した値を示した。

以上の研究成果から、マイクロバブルの発生と圧壊によるフェノール等の有害化学物質を含む排水処理技術が実用化される見通しが得られたと考えられる。今後、エンジニアリング展開を行うとともに市場ニーズを調査して、本技術の早期実用化を図ることとする。

年度ごとの成果を表 A-(4)-4 に示す。

表 A-(4)-4 過去 2 年間の発表

	口頭発表等	論文等発表
平成 16 年度	11	7
平成 17 年度	9	2

プロジェクト終了後の事業化計画

オゾン曝気で分解できない難分解性の化学物質や生物処理に大きな負荷を与える物質を明らかにすることで、本技術が優位性をもつ市場を見だし、ニーズをもつ事業所等による実用化（本技術の採用）を図っていく。

現在、想定する市場ニーズとしては、次の 2 つがある：

1) 活性汚泥法との併用

活性汚泥処理に負荷を与えるフェノール等を含む排水の前処理が必要な事業所
 活性汚泥法で排水基準等を達成できない排水の後処理が必要な事業所

2) 新規な物理化学処理法として導入

オゾン曝気で分解できない難分解性化学物質を含む排水の処理が必要な事業所
 フェントン酸化（高いコスト、汚泥発生の課題）による排水処理を代替したい事業所

2-A-(5) 大気圧・空気プラズマを利用した
揮発性有機化合物(VOC)等の無害化装置の開発

プロジェクトリーダー：株式会社島津製作所 高木 誠
実施企業 イマジニアリング株式会社

1. 研究概要

1-1. 背景

国では、PRTR 制度に基づき化学物質等の VOC 排出量を 2010 年までに 2000 年排出量(約 185 万トン)の 30%削減することを目標に掲げているが、その目標を達成するにはかなりの困難が予想され、画期的な技術ブレークスルーが必要となっている(基本方針では、法規制で 10%、自主取り組みで 20%削減)。

自主取り組みで削減する VOC 排出の多くは届出規制対象外の中小規模の事業所から排出されている。排出量の業種・用途別にこれらの値を分析すると、建設業、輸送用機械器具、金属製品、燃料小売業、化学工業などの業種、溶剤等の塗料関連、工業用洗浄剤、化学製品、給油所などであり、エンドオブパイプ対策技術を利用した高価で大型の処理装置を排出口に設けることはほとんど不可能であり、また普及の可能性が低い。普及のためには、小型で低価格、容易な設置方式のエンドオブパイプ対策技術が望まれている。

1-2. 本研究の意義

本研究では、一般に市販されている家庭用電子レンジに使用されているマグネトロンを用いたマイクロ波発生装置と自動車エンジン用の点火システムを組み合わせて、安価で単純な構成により、これまでにない安定した大気圧・空気プラズマを低コストで発生する技術を開発する。このプラズマ技術を用いて、高い酸化力を有する OH ラジカル、オゾンをこれまでにない高濃度で発生させ、VOC の酸化・分解促進、C-H、C=C、C-C 結合を化学的に切断し、分子構造を変化させて VOC を無害化する。従来技術と大きく異なる小型、安価で省電力型の大気圧・空気プラズマ発生技術を開発し、本技術を用いた VOC 高速無害化装置を開発・実用化することで、有害化学物質の削減に貢献することが期待できる。

1-3. 研究目的及び目標

本研究では、大気圧・空気プラズマを用いた小型で低価格、容易な設置方式の VOC 高速無害化装置を開発する事を目的とする。プラズマの安定発生、装置構成が複雑、消費電力が大きい等の課題があり、これまでプラズマ処理技術開発・実用化はハードルが高いと言われてきた。そのハードルの高さにより、研究開始当初は相当困難な技術開発であると認識されていた。そのため、全体計画は 3 年間とするものの、初年度において、大気圧プラズマ安定発生技術の開発とその VOC 処理効果確認の実証を目標とした。これらを達成した場合のみ、2-3 年の研究継続の実施を許可される方向で目標設定を行なった。

表 A-(5)-1 に大気圧・空気プラズマを利用した VOC 等無害化装置の開発目標を示す。技術開発の可能性については専門的観点からの是非それぞれの評価が異なったため、高い目標設

定を掲げ、研究推進することにした。

表 A-(5)-1 大気圧・空気プラズマを利用した VOC 等無害化装置の開発目標

全 体 目 標	達 成 目 標 (値)
大気圧・空気プラズマ発生システムの最適化と VOC 分解・無害化試験	・ C ₆ H ₆ 、C ₇ H ₈ 、HCHO 各単体の分解特性 50~60%以上@200ppm 以下
芳香族 VOC の分解特性把握とその分解率の向上 対象 VOC : C ₆ H ₆ (単体) , C ₇ H ₈ (単体) , C ₈ H ₁₀ (単体) , BTX (ベンゼン、トルエン、キシレンの混合物)	・ C ₆ H ₆ 、C ₇ H ₈ 各単体分解率 90%以上 (プラズマパラメータの決定) ・ BTX の分解率 80%以上
大風量処理装置の検討	・ 大容量化装置に関する概念設計とエンジニアリング技術の確立 ・ 大風量化課題抽出 ・ 効果確認 1,500~30,000m ³ /h に適用できる装置@H19-H20 年度
実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定	・ シナリオ、ビジネスモデル策定 ・ 含酸素 VOC、芳香族 VOC、混合物の分解装置適用先業種、市場規模の調査
多種 VOC の分解装置デモ機試作と実証試験	・ 1,500~30,000m ³ /h 適用多種 VOC 分解装置デモ機試作、実証試験

2. 研究方法

自動車用点火プラグで発生する（放電）局所プラズマにマイクロ波エネルギーを吸収させることで、大気圧、空気中下で容易に大気圧・空気プラズマを発生するプラズマ発生装置を設計、試作し、点火プラグの放電タイミング、マイクロ波発振タイミング、各持続時間、アンテナ・キャビティ形状・諸寸法の最適化を行なうことで、安定した大気圧プラズマを発生する技術を開発する。図 A-(5)-1 にプラズマ発生実験装置の基本構成を示す。

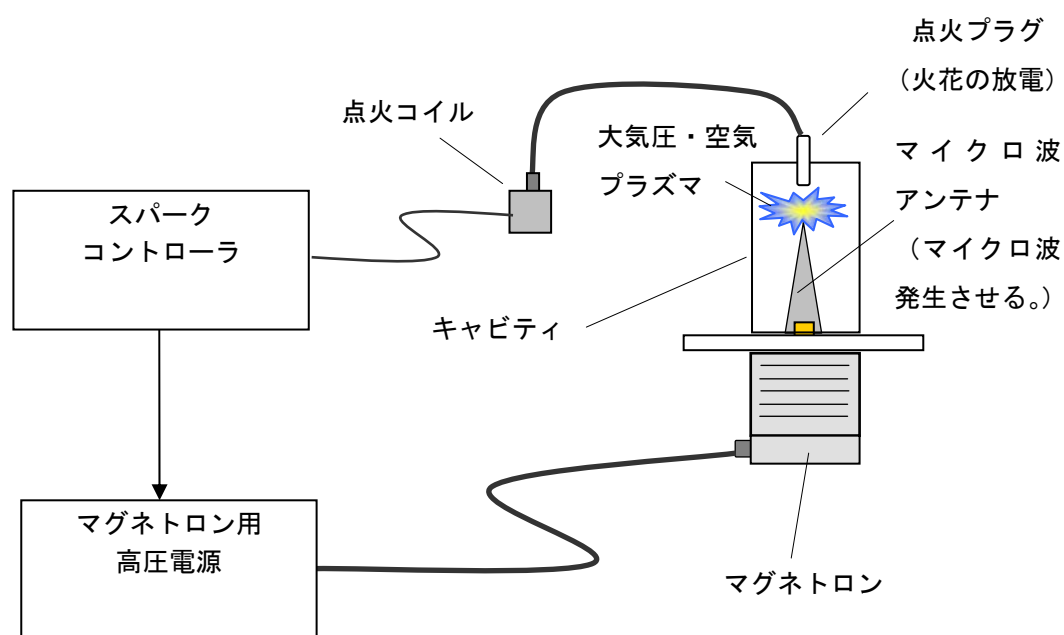


図 A-(5)-1 プラズマ発生実験装置

次に、試作したプラズマ発生装置で発生する大気圧プラズマに VOC ガスを効果的に流して処理するプラズマリアクターを検討し、設計・試作して、ベンゼン (C₆H₆)、トルエン (C₇H₈)、ホルムアルデヒド (HCHO) 等の VOC の分解処理の基本性能を把握する。VOC 処理対象種として VOC 削減効果が期待できる自動車の排気ガスや印刷・塗装業の事業所や現場、化学実験等において発生する有害ガスに含まれる C₇H₈、C₆H₆ または、医療機関等から排出・処理される HCHO を VOC 種として選定した。

濃度、流量、プラズマ発生パラメータを最適に選定することで本大気圧プラズマによる VOC 無害化装置のプラズマリアクター設計、マイクロ波電源、装置製作に必要なデータを収集する。これらの基本データを基に大気圧プラズマによる VOC 無害化装置の設計、試作、基本特性の把握を行い、装置開発を進める。VOC 無害化装置の実用化ターゲットとしてドラフトチャンバーへの適用を想定して、装置開発（分解特性の向上、処理風量の向上を目指した開発）に必要な基本特性以外の装置の動作安定性、耐久性、安全性、信頼性、対環境性能の評価を進める。並行して大風量化に向けた開発を行う。以上、本研究開発 3 年間の研究開発ステップを図 A-(5)-2 に示す。

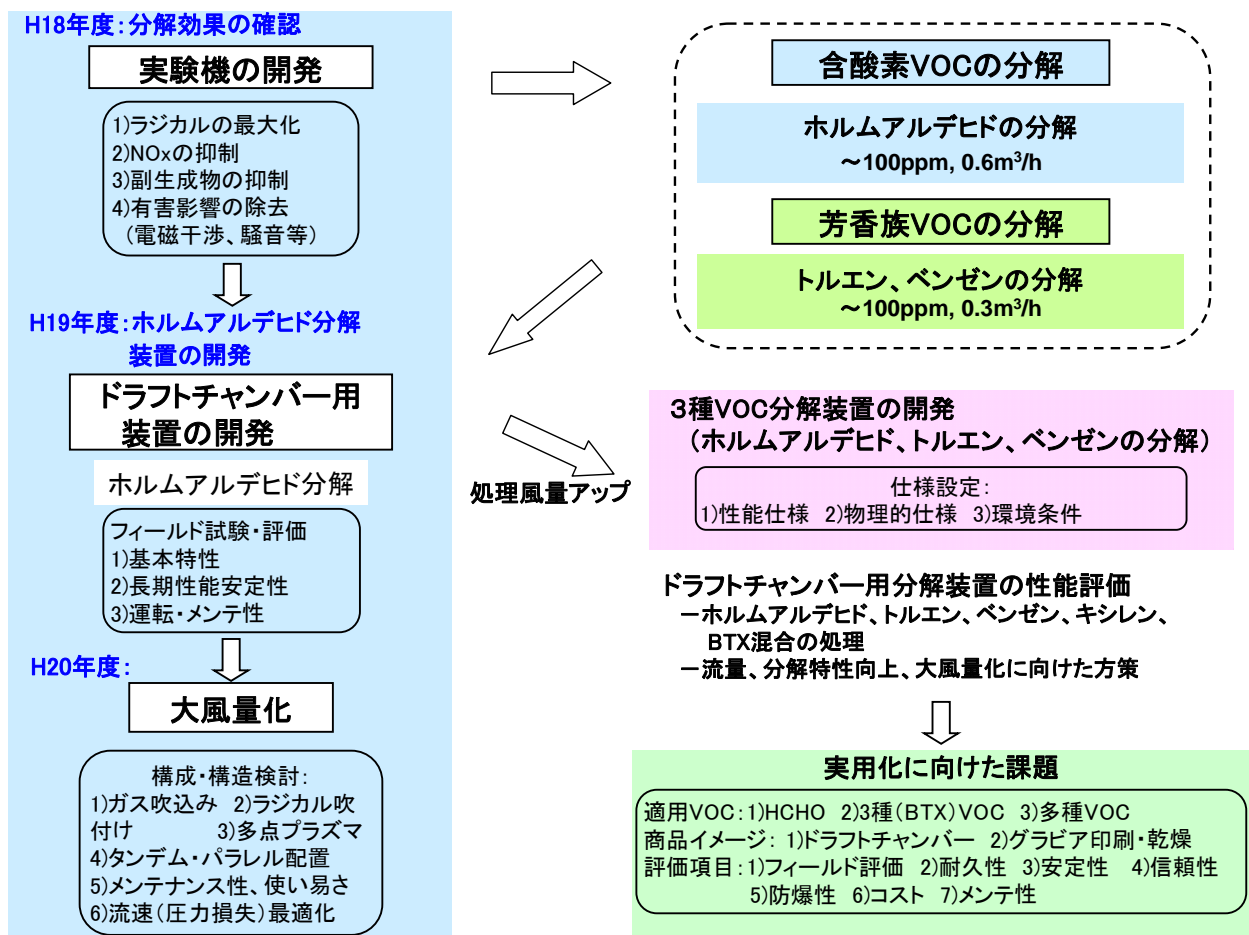


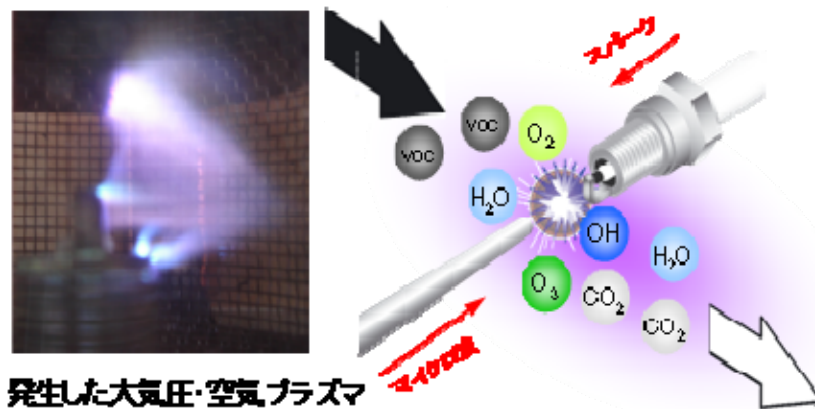
図 A-(5)-2 3 年間の研究開発ステップ

3. 研究結果と考察

3-1. プラズマ発生実験装置の開発

大気圧・空気プラズマの発生原理とプラズマによって生成するOHラジカル、 O_3 によるVOCのメカニズムを図A-(5)-3に示す。

本技術の大気圧・空気プラズマはプラズマの種として点火プラグの放電（火花）を用い、その局所プラズマにマイクロ波のエネルギーを供給してプラズマを成長、拡大させる。エネルギーが供給されている間はプラズマの状態が維持される。したがって、火花を出す時期とマイクロ波を発振させる時期・期間を制御すれば、プラズマが発生するタイミングとプラズマを維持する期間を制御できる。プラズマ状態が持続する時間はVOC分解率に影響を与えるだけでなく、気体温度の上昇にも関わる。この気体温度はサーマルNOxの生成と関係しており、NOxの生成を抑制するための鍵となる。



物質の酸化力の違い

Species	Oxidation potential [V]
F	3.03
OH	2.80
O	2.42
O₃	2.07
H ₂ O ₂	1.78
Cl	1.36

B. Sun et.al.: *J. Electrostatics*, **39** (1997) pp.189-202

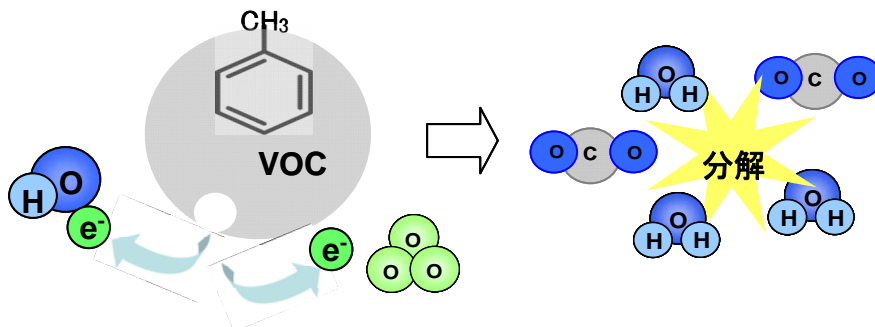


図 A-(5)-3 大気圧・空気プラズマによるラジカル発生と VOC 分解メカニズム

安定したプラズマ発生装置を開発するにあたり、その主要構成であるプラズマリアクターの諸元となるマイクロ波アンテナ挿入長、アンテナ形状、点火プラグ挿入長、プラグ/アンテナ間ギャップ長、点火プラグ放電周期、点火プラグパルス数、マイクロ波発振周期パルス幅（発生デューティ）、キャビティ寸法を解析と基礎実験結果から求めた。

特にマイクロ波のエネルギーを点火プラグのプラズマ発生箇所効率良く、効果的に集中させるためにキャビティ内の点火プラグ、アンテナの相対位置については電界解析を行い、リアクター形状と諸元を決定した。

上記で決定した諸元をもとにプラズマキャビティを試作し、VOC ガスをプラズマ処理し、分解特性を調べた。製作した実験機を図 A-(5)-4 に示す（図は同形機を 2 台直列接続したものの）。また、それぞれ各単体の HCHO、C₆H₆、C₇H₈ の本大気圧プラズマによる分解の効果確認結果を表 A-(5)-2 に示す。HCHO に関しては、液体クロマトグラフによる、また C₆H₆、C₇H₈ については質量分析ガスクロマトグラフによる計測結果である。

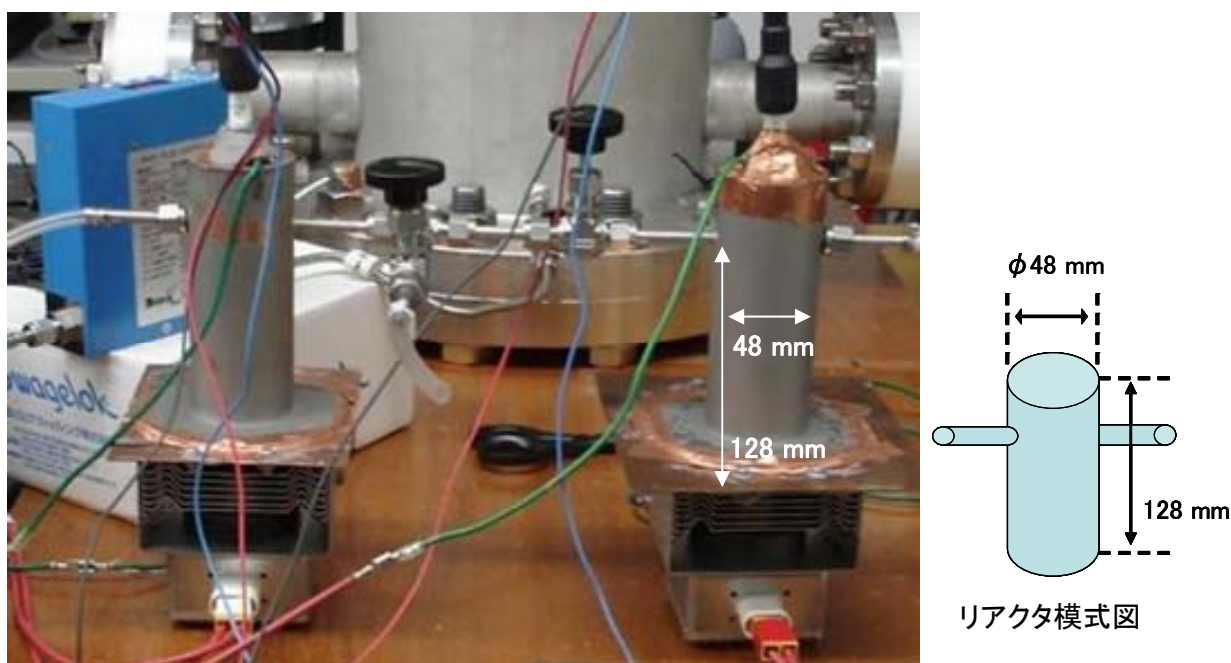


図 A-(5)-4 製作した実験機

表 A-(5)-2 各 VOC 種 (HCHO、C₆H₆、C₇H₈) の分解率

リアクター 直列配置 段数	濃度/分解率	HCHO (0.6m ³ /h)	C ₇ H ₈ (0.3m ³ /h)		C ₆ H ₆ (0.3m ³ /h)	
		水分なし	水分なし	水分有り	水分なし	水分有り
処理前	濃度	80.0ppm	71.8ppm	67.5ppm	50.2ppm	60.7ppm
1 段	濃度	8.8ppm (89.0%)	-	-	12.7ppm (74.7%)	15.6ppm (74.3%)
2 段	分解率 (濃度)	99.6% (0.32ppm)	97.2% <	97.0% <	96.0% <	96.7% <

表中の1段、2段は、VOCガスをシリーズで処理した回数を示している。なお、VOC分解時に空気中の窒素と反応して、窒素酸化物（一酸化窒素 NO）ギ酸メチル $C_2H_4O_2$ 、亜硝酸メチル CH_3NO_2 、ジシアン $NCCN$ などの発生が認められた。窒素酸化物の排ガス装置の排出基準（ガス専燃ボイラー）は60～150ppmであるが、以下に示す制御により5ppm程度に抑制できる事ができた。

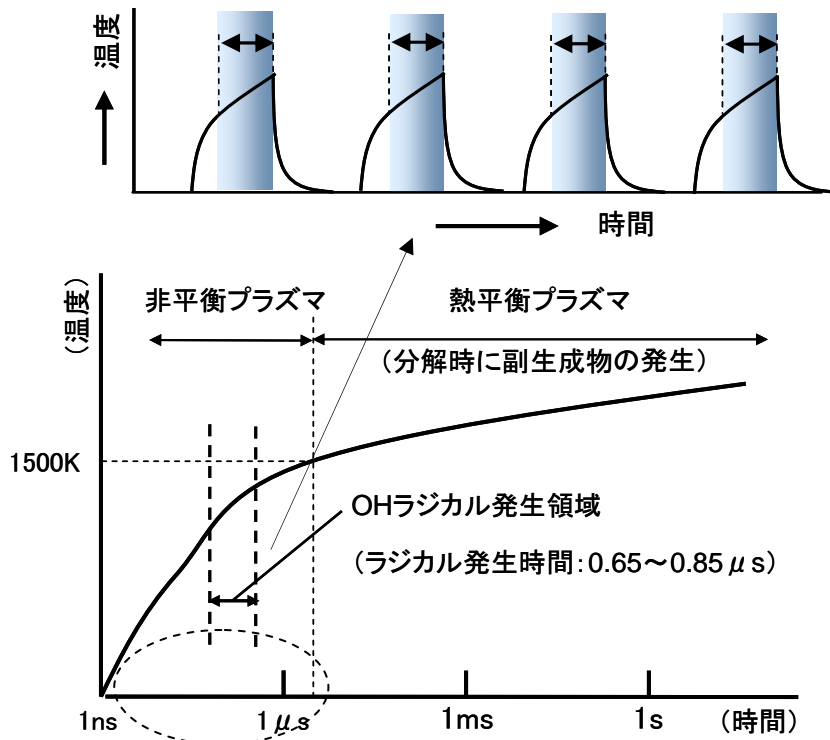
窒素酸化物等の生成量は、プラズマ発生時間と相関があり、連続発生の場合、窒素酸化物の二次生成が生じることから、プラズマのパルス発生運転が不可欠であることがわかった。

マイクロ波プラズマの発生時間とプラズマ温度の相関図を図A-(5)-5に示す。VOCの酸化分解に必要なOHラジカルが発生するのは、マイクロ波プラズマの発生時間が0.65～0.85 μs （文献値）の時である。マイクロ波プラズマの発生時間が1 μs 以上に達し、プラズマ温度が1500Kを超えると、熱平衡プラズマにより有害副生成物の1種であるNO_xが多く生成される。本実験では、ラジカルの発生量が最大かつNO_xの発生を抑制できるマイクロ波プラズマ発生条件の検討を行った。

検討を行うにあたり、1 μs オーダのパルス電源を開発するには高圧スイッチング回路等が必要となり、開発に非常に時間と経費を要する。まずは、マイクロ波を数 μs ～数十 μs オーダのパルスで発振するマイクロ波のパルス発振電源の開発を行い、効果有無を確認することにした。試作したものは、家電用電子レンジのマグネトロン制御装置を利用したパルス電源であり、単パルスの発振時間は6 μs 固定（最小インターバル時間も固定）であるが、パルス数を可変にできるためプラズマ発生時間を変えることができる。

プラズマ発生時間を短くし、パルス発生させることで温度上昇を防ぎ、非平衡状態を維持する

非平衡プラズマのパルス発生制御



図A-(5)-5 マイクロ波プラズマの発生時間/プラズマ温度相関図

上記で開発した電源を使用して空気中でマイクロ波プラズマを発生させ、空気中の窒素との酸化による NOx 生成量を、プラズマの発生時間と生成した NOx の濃度の相関関係により調査した。リアクター出口側のガス中の NOx 濃度を NOx 計（堀場製作所製 PG-250）により測定した結果を図 A-(5)-6 に示す。

実験の結果、プラズマ発生時間が約 50 μ s 以下の時、NOx 発生量は急激に減少することが分かった。この結果から、1 μ s 以下の短パルスマイクロ波電源を用いなくても十分な NOx 抑制が期待できることがわかった。又、プラズマの発生時間が 1 μ s ~ 50 μ s の際にも VOC 分解に必要な OH ラジカルが発生している事をプラズマの分光計測（OH ラジカル発光）で確認している。この結果を踏まえた上で、ラジカルの発生量が最大かつ NOx の発生を抑制できるマイクロ波パルス電源の運転制御パラメータを選定した。

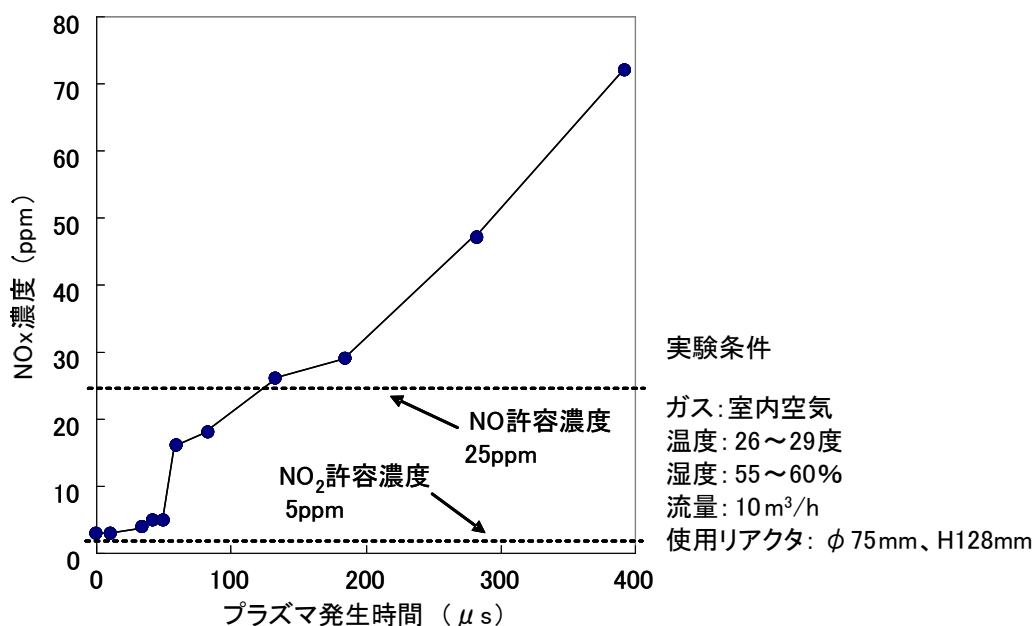


図 A-(5)-6 プラズマ発生時間/ NOx 濃度の相関測定結果

3-2. 芳香族 VOC の分解特性把握

トルエン・ベンゼンの構造は、環状構造を有しているため、ホルムアルデヒドの様な含酸素系物質と比較して酸化分解が処理困難とされている。だが、芳香族 VOC は溶剤として広く使われており、無害化装置の開発が求められている。このトルエン・ベンゼン等の芳香族 VOC の分解特性把握とその分解率の向上を本節で行った。

本実験では、測定ガスにトルエンを用い、実験機（プラズマリアクター1 個で構成）による分解処理を行なった。リアクター入口部・出口部それぞれでトルエン濃度を測定することで、トルエンのラジカルによる分解特性を把握した。濃度計測は、T-VOC 計を使用した。図 A-(5)-7 に実験結果を示す。

本実験では、4 種類の異なった風量で実験を行った。図 A-(5)-7 の実験結果より、それぞれの風量について、トルエン入口濃度とトルエン出口濃度との相関に良好な直線性が得られた。この結果より、入口濃度に関わらず分解に寄与するプラズマが発生しているものと思わ

れる。次に、 $0.1\text{m}^3/\text{h}$ に関して、トルエン入口濃度とトルエン分解率との相関解析を行った。結果を図 A-(5)-8 に示す。

図 A-(5)-8 の結果より、トルエン濃度 850ppm までの濃度域で分解率約 60%を保持していることから、本分解装置は、 $0.1\text{m}^3/\text{h}$ の小風量においては、高濃度のトルエンを分解することが可能であることが分かった。

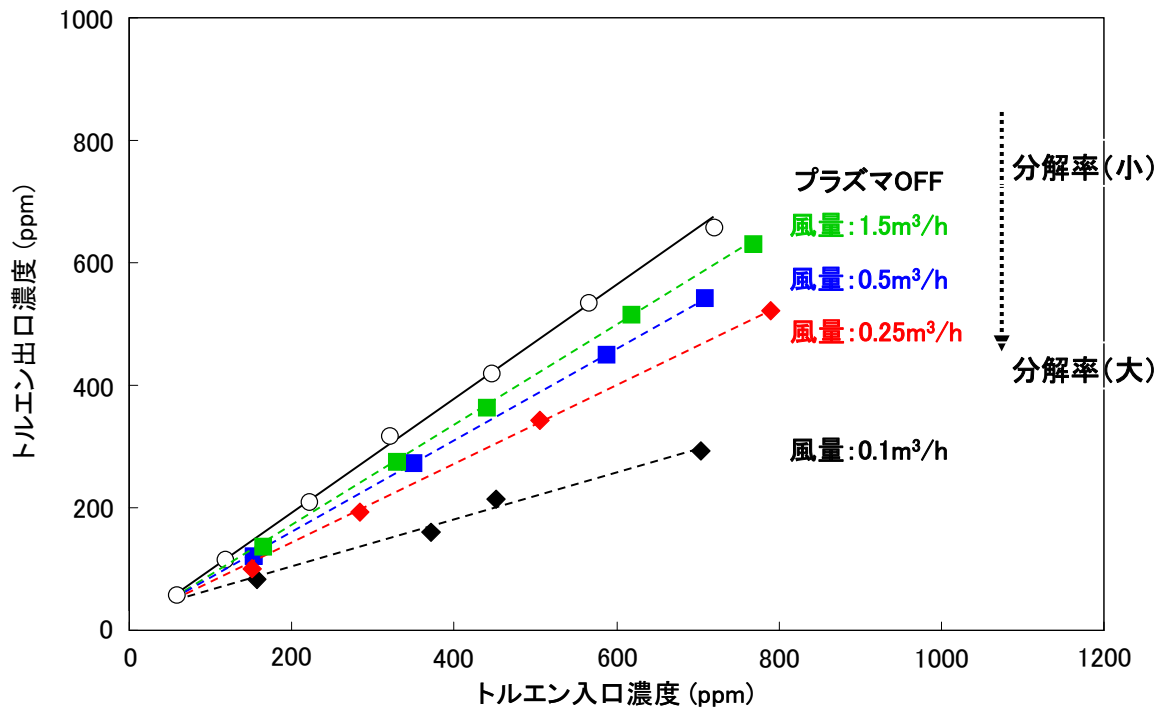


図 A-(5)-7 トルエン入口濃度/トルエン出口濃度相関図

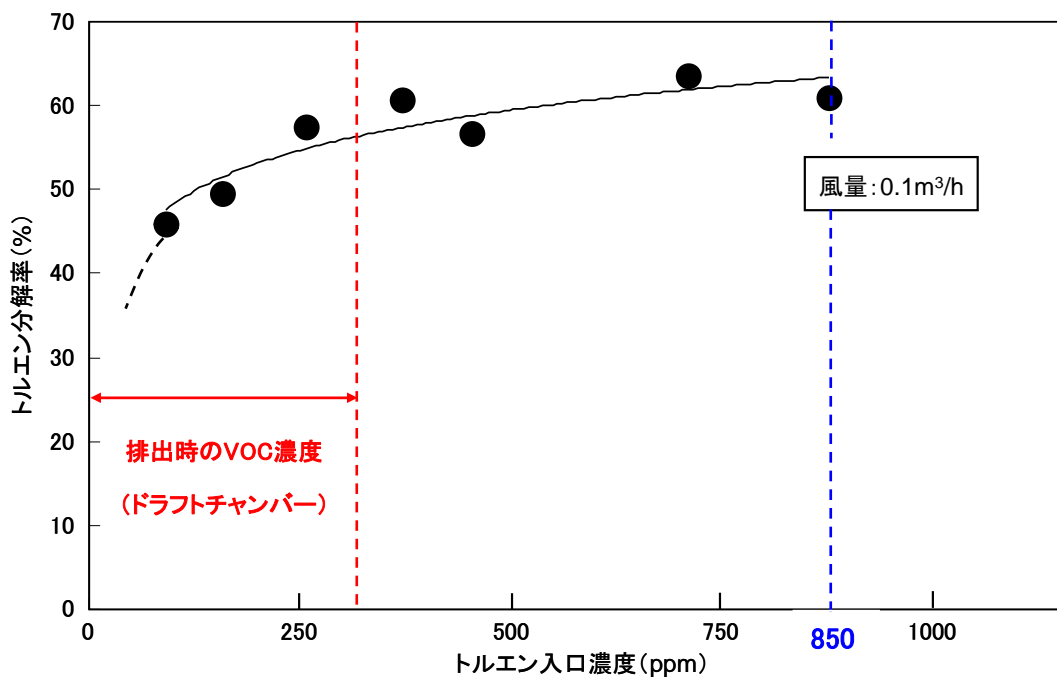


図 A-(5)-8 トルエン入口濃度/トルエン分解率相関図

次に、実験機を用い、測定ガスに代表的な芳香族 VOC であるベンゼン・トルエン・キシレンを用いた。測定は、様々な風量で行い、風量と分解率の相関検討を行った。図 A-(5)-9 に実験結果を示す。また、ベンゼン・トルエン・キシレンの混合ガス (BTX と略す) を測定した結果を図 A-(5)-10 に示す。

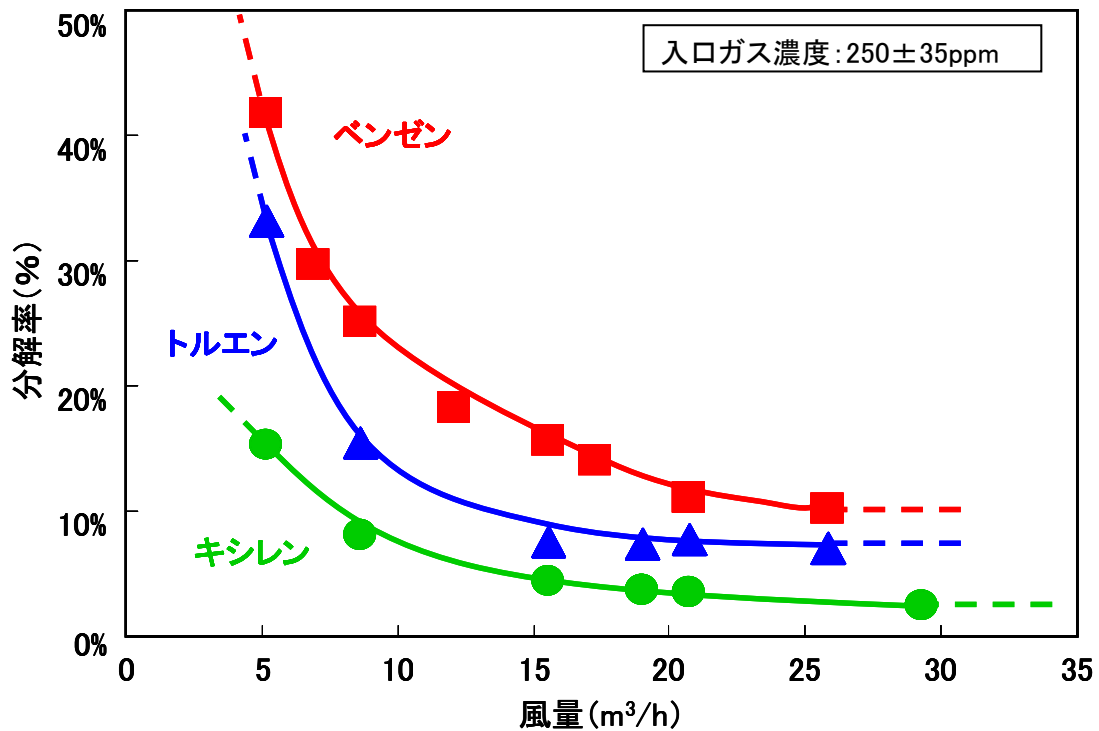


図 A-(5)-9 3種類芳香族 VOC (各単体) の風量/分解率相関図

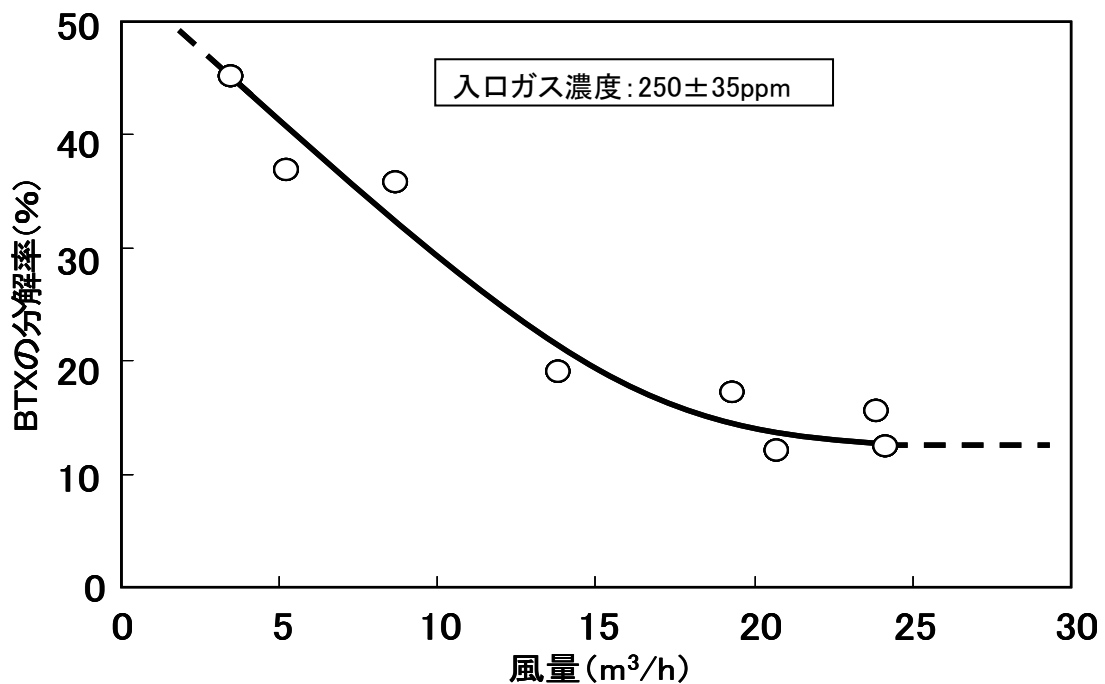


図 A-(5)-10 風量/BTX の分解率相関図

本節で開発したプラズマリアクターによる芳香族 VOC の分解特性では、処理風量が $5\text{m}^3/\text{h}$ を超えると分解率が大幅に下がった。目標としている $1,500\text{m}^3/\text{h}\sim 10,000\text{m}^3/\text{h}$ の風量（ドラフトチャンバー、印刷業界、及び化学工業で必要とされる VOC 分解装置）に適合する為には、リアクターの分解特性の大幅な向上（2 桁倍以上の処理風量）が必要である事が分かった。

現状技術では、濃縮しての高濃度・小風量（ $60\sim 100\text{m}^3/\text{h}$ ）の VOC 処理への適用が考えられるが、プラズマリアクターの更なる性能向上が不可欠である。

3-3. ホルムアルデヒドの処理風量向上に向けた開発

プラズマリアクター単体での処理風量を増加するため、リアクター形状、寸法を改善した。改善点は下記3点である。

- ① VOCガスをプラズマ領域に効率的に反応させるため、リアクター高を低く（H128mm→H70mm）設計。
- ② VOCガス処理風量を向上させるために、流路パイプ径の増大・流路パイプ本数の増加。（流路パイプ径： $\phi 4.1\text{mm}\rightarrow\phi 16\text{mm}$ 、パイプ本数：1本→3本）
- ③プラズマリアクター構成による VOC の分解率向上、処理風量のアップ効果を確認するため、プラズマリアクターを多並列構成、多段直列構成とした。

改良したプラズマリアクター（改良機）において流量、分解特性の基本データを収集した後、ドラフトチャンバー組込装置として、まず本技術による高性能処理が期待できるホルムアルデヒド分解装置を設計・製作した。改良機においては1リアクターで $30\sim 40\text{m}^3/\text{h}$ の風量を流せることが確認できたことからホルムアルデヒド分解装置は改良機を3並列、2段構成とし、処理風量として約 $100\text{m}^3/\text{h}$ を流せるように設計した。

ホルムアルデヒド分解装置をドラフトチャンバーの排気ダクトに設置し、性能検証を行った。ドラフトチャンバーへの分解装置の設置風景を図A-(5)-11に示す。実験結果を図A-(5)-12に示す。



図 A-(5)-11 ホルムアルデヒド分解装置の排気ダクトへの設置風景

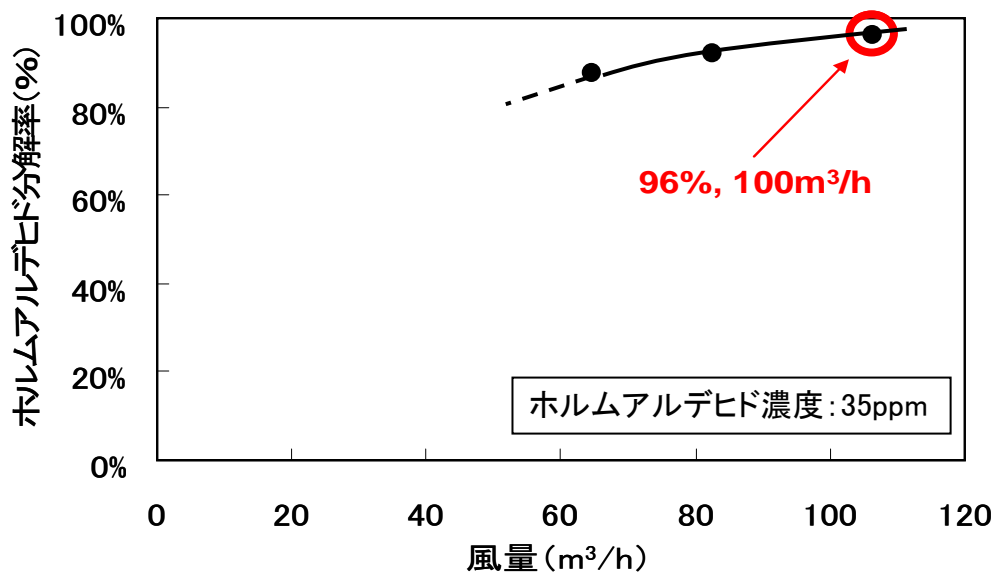


図 A-(5)-12 ホルムアルデヒド分解率/風量の関係

ホルムアルデヒドの濃度測定は、液体クロマトグラフによる定量分析を行った。図A-(5)-12の実験結果より、ホルムアルデヒド処理能力は、風量100m³/h下で分解率96%であった。

3-4. 芳香族VOCの処理風量向上に向けた開発

続いて、3-3. と同じ分解装置を用いて、芳香族VOCの性能検証を行った。分析はガスクロマトグラフによる定量分析を行った。トルエン単体の実験結果を図A-(5)-13に示す。

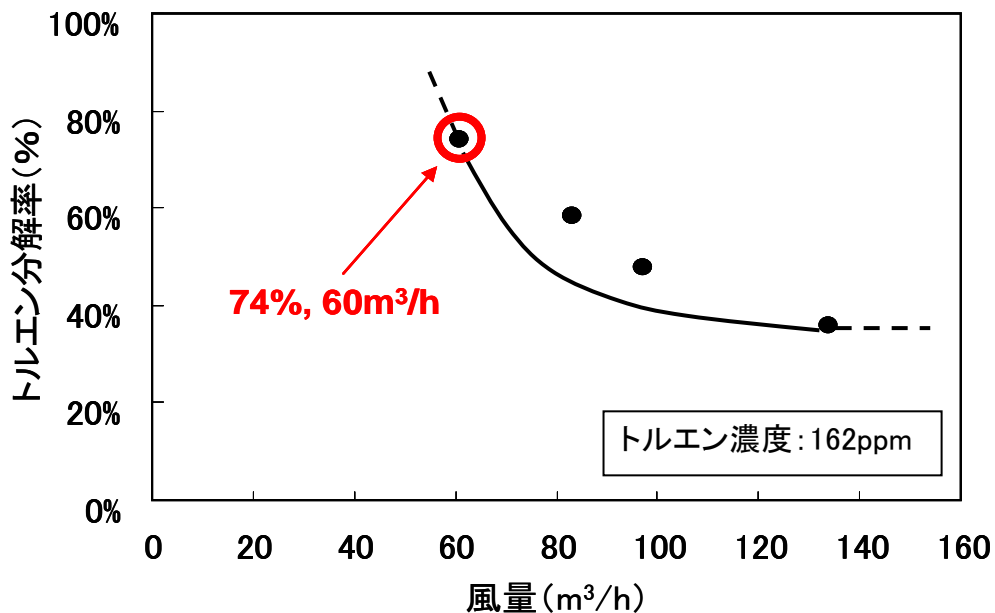


図 A-(5)-13 トルエン分解率/風量の関係

図 A-(5)-13 より、トルエン単体の分解性能は風量 60m³/h で分解率 74%の処理能力をあることが分かった。

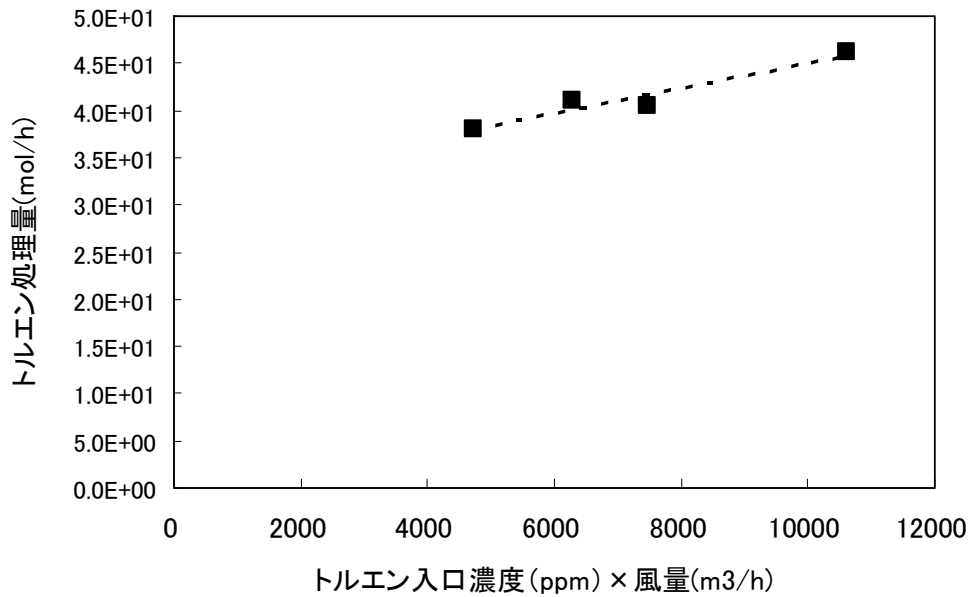


図 A-(5)-14 トルエン入口濃度 × 風量 / トルエン分解率の関係

又、図 A-(5)-14 でトルエン入口濃度 × 風量から、1 プラズマによるトルエン処理量の相関検討を行った。本結果から、プラズマ単位体積あたりの処理能力は、 $3.5 \times 10 \text{ mol/h} \sim 4.5 \times 10 \text{ mol/h}$ と算出される。

ベンゼン（単体）、キシレン（単体）に関しては、プラズマリアクター1 個の処理能力（図 A-(5)-9 の実験結果）を元に風量と分解率相関シミュレーションを実施した。プラズマリアクター9 個を風量に合わせて適正に配置構成した際の風量と分解率相関のシミュレーション結果を図 A-(5)-15 に示す。

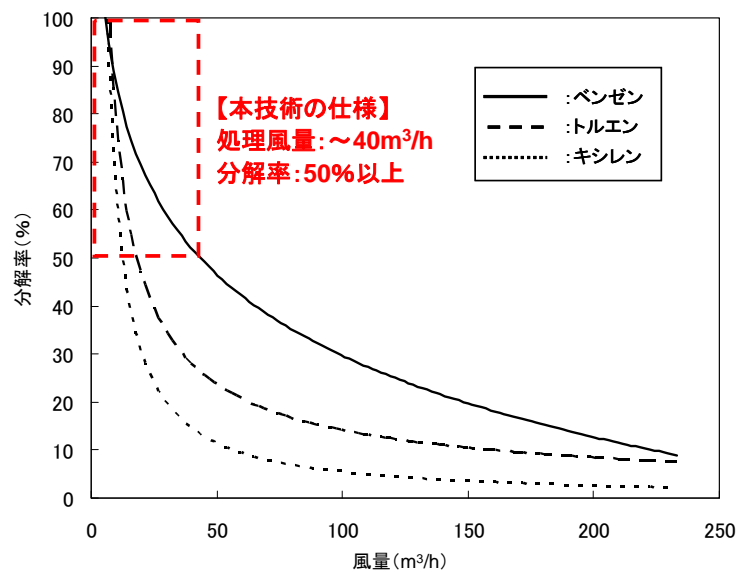


図 A-(5)-15 リアクター特性から予測した 3 種 VOC の風量 / 分解率相関図

図 A-(5)-15 より、前節で開発した分解装置の芳香族 VOC に対する仕様は、処理風量 $\sim 40\text{m}^3/\text{h}$ 、分解率 50%であり、大風量に適した仕様ではなく、小風量・高濃度処理に適している事が分かった。

3-5. 安全性、長期安定性の確認

流れに並列に配置した単一プラズマリアクターユニットを、流れ方向に多段に配置することで分解装置の機器仕様を可変にできるようにした。本装置において、実用化した場合の VOC 分解連続安定性（ガス種、濃度、流量、排出状態の変動など）、プラズマ（マグネトロン発振、放電）生成の安定性、装置からの音、臭い、電磁干渉、プラズマリアクター部における VOC の引火、発火性の有無、機器耐久性、消費電力などの課題、機器仕様に関するニーズ抽出を行った。これらの結果を基に、VOC 分解装置の安全性・長期安定性の確認を行い、電源、制御、分解装置本体の基本仕様を見直し設定した。

電磁干渉、耐久性、騒音レベルについて評価した結果を以下に示す。

1) 電磁干渉試験

試験規格 CISPR22 クラス A、3m の電波暗室で放射電界妨害強度（EMI）と端子間雑音（CONDUCTED）の試験を行った。条件等は次の通りである。

試験周波数範囲：EMI 試験：30MHz \sim 1GHz（自動測定受信装置のみ）

CONDUCTED 試験：150kHz \sim 30MHz

試験供給電源：AC100V 25A 最大程度（50/60Hz）

試験風景を図 A-(5)-16 に示す。

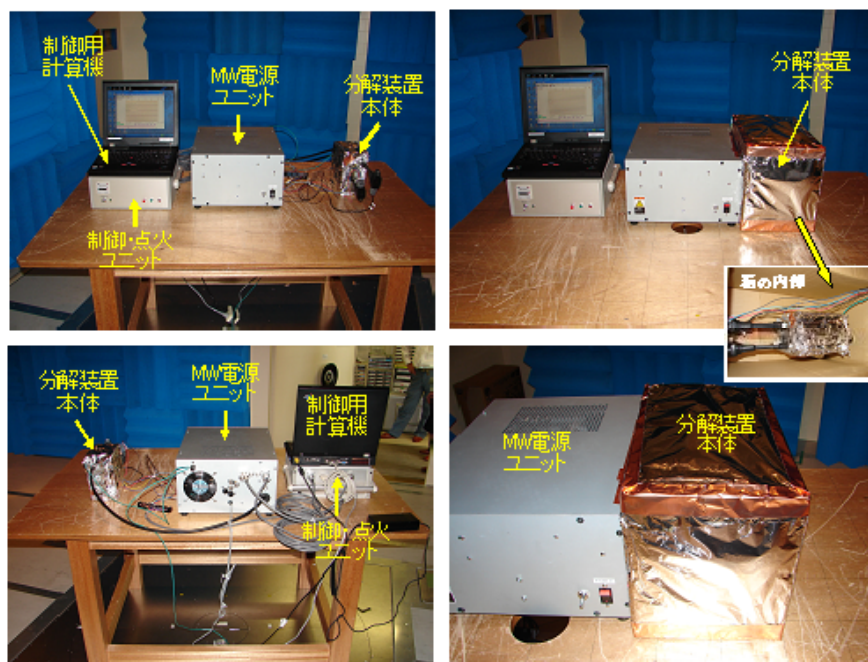


図 A-(5)-16 VOC 分解装置主要機器（マイクロ波電源、点火コイル等）の電磁干渉試験

EMI 試験の結果、プラズマ発生の有無による顕著な差は観測されなかった（図 A-(5)-17）。妨害波対策として、点火コイルへの信号線と電源線にフェライトコア（FC）を装着した場合の結果を図 A-(5)-18 に示す。FC を装着すると 50～200（MHz）の妨害波のピークが減少した。その他の妨害波源に対しても、放射源を金属でシールドする等に対応可能であることが分かった。

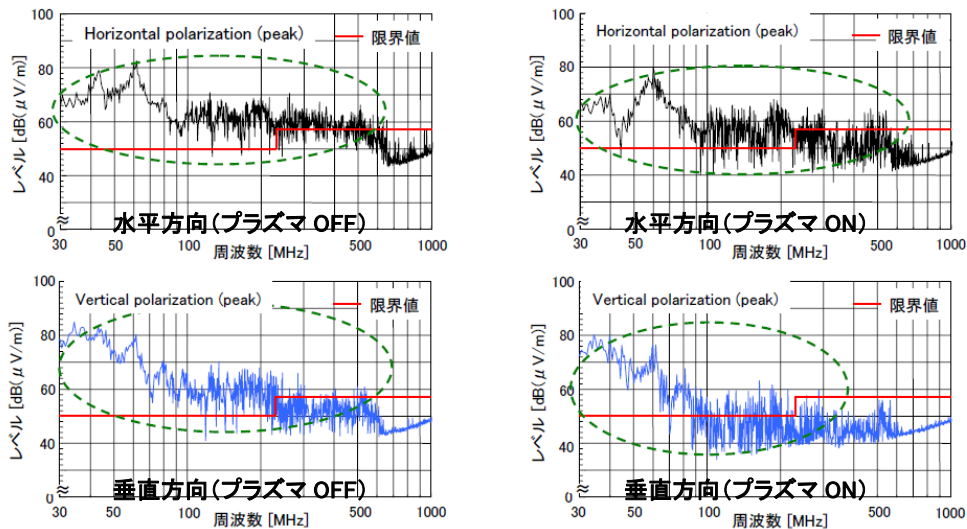


図 A-(5)-17 EMI 試験結果（プラズマの有無による比較）

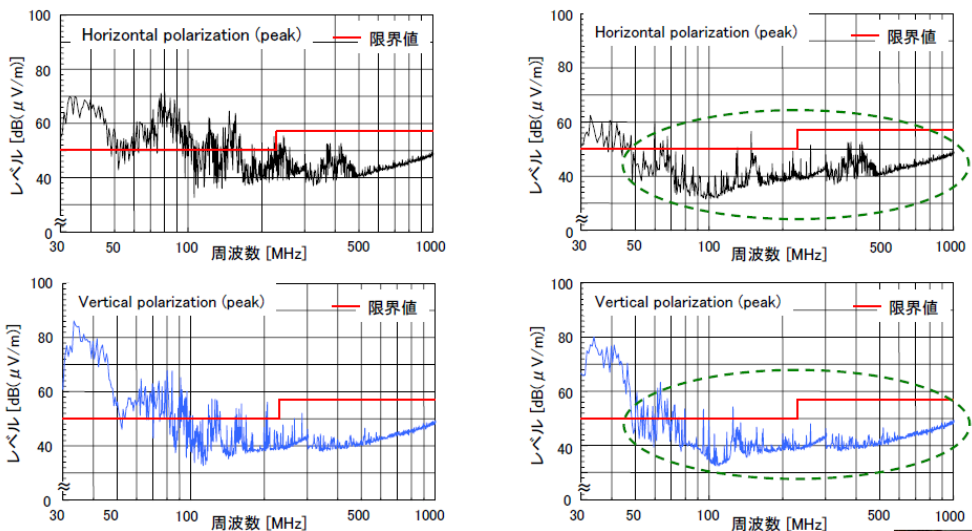


図 A-(5)-18 EMI 試験結果（プラズマの有無による比較）

2) 耐久性評価試験

商品化に向けて、改良開発を進めている分解装置の耐久性評価試験を行った。本実験の装置概略図を図 A-(5)-19 に示す。図 A-(5)-19 中の青色破線で囲んだ部分の詳細な観察が必要な為、リアクターにはメッシュ製リアクターを用いた。このリアクターを用いる事で、詳細観察が可能となった。装置は500時間連続運転を行い、装置の各部構成要素の動作、劣化、損傷の有無を調査した。

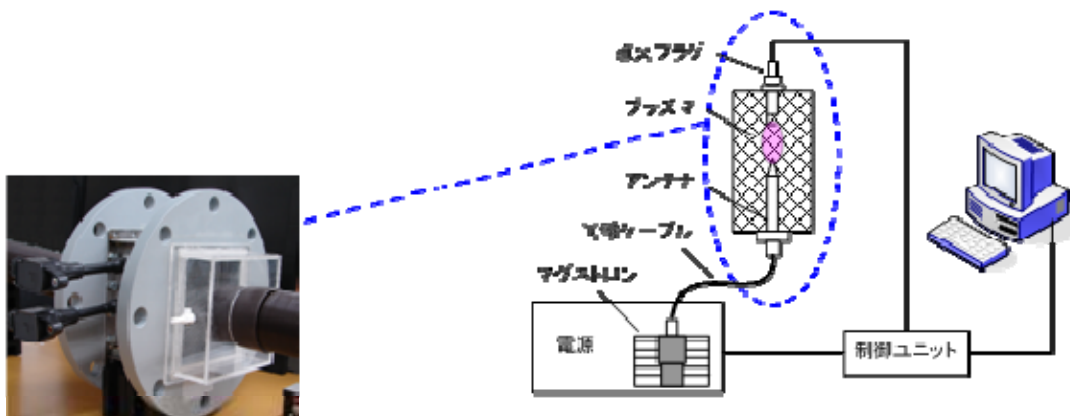


図 A-(5)-19 耐久試験用装置概略図

各構成要素の機能劣化、損傷状況結果を表 A-(5)-3 にまとめた。また、同一マイクロ波電源を用いた 500 時間連続運転のマグネトロンと新規のマグネトロンの出力比較を行った結果を図 A-(5)-20 に示す。構成要素 7 項目について、500 時間連続運転による機能劣化、損傷は無かった。特に耐久性が懸念されたマグネトロンにおいては、500 時間連続運転によるマグネトロンの特性劣化は無い事が分かった（出力変化値：0.5%以内）。以上のことから本システムは、商品化をするに当たり、致命的な問題となる技術課題は無いことが判明した。耐久性については更なる評価が必要となるが、基本的装置耐久性を備えていることがわかった。

表 A-(5)-3 各構成要素の機能劣化、損傷状況表

構成要素	機能	損傷	その他
マグネトロン	問題無し	無し	
マイクロ波電源	問題無し	無し	
同軸ケーブル	問題無し	無し	
点火プラグ	問題無し	無し	
アンテナ	問題無し	無し	汚れの付着有
リアクター	問題無し	無し	
コントローラ	問題無し	無し	

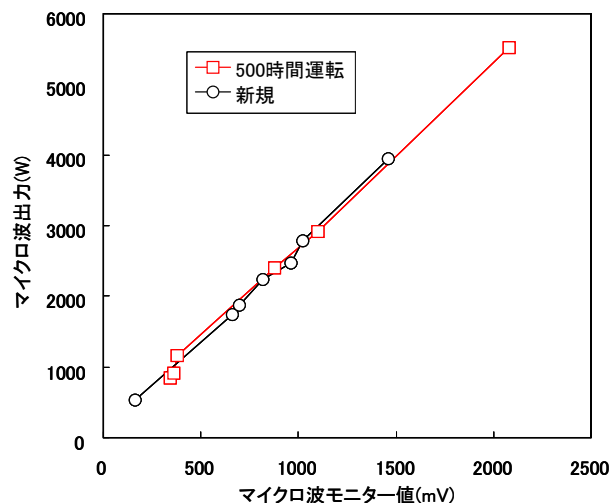


図 A-(5)-20 マグネトロンの電氣的耐久性、特性劣化の確認

3) 分解装置の騒音レベル測定

分解装置（3個並列、直列2段）の騒音レベルを測定した。その結果を表 A-(5)-4 に示す。分解装置駆動時の騒音レベルは 64.4 [dB] に対して、ドラフトチャンバーの排気ファンのみ駆動時の騒音レベルは 62.8 [dB] であり、騒音レベルは同等のものであった。70 [dB] の音の大きさの例として“騒々しい事務所内の音”が挙げられることから、騒音レベルも対装置使用環境に適していると考えられる。

表 A-(5)-4 分解装置の騒音測定結果

条件	音の大きさ [dB]
背景雑音	45
エアコンのみ動作時	54.5
排気ファンのみ動作時	62.8
分解装置動作時	64.4

3-6. VOC 分解率向上と大風量化のための課題抽出

目標設定した大風量化に至らなかった要因について、VOC の流れと発生するプラズマの関係から課題を抽出し、分析を行なった。図 A-(5)-21 に模式的に示す。発生するプラズマの大きさと入力エネルギーとの兼ね合いで、処理される VOC ガスがプラズマを避けて迂回したり、熱反応して NO_x を発生したり、流路制限により、圧力損失を増大させて風量アップを阻害したりすることが判明した。このことから、プラズマの多点着火による VOC ガスとの適正な混合促進、反応回数・反応時間の増大、入力エネルギーの制御、触媒技術との組み合わせなどによる分解性能の向上が重要となる。

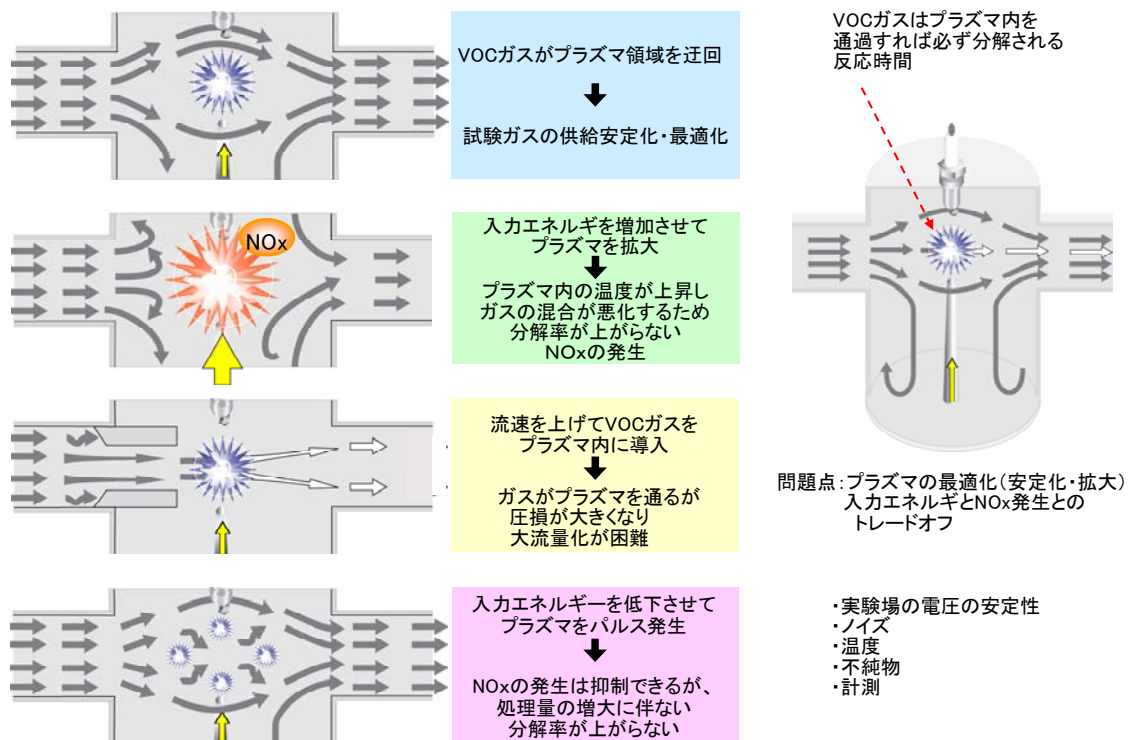


図 A-(5)-21 VOC 分解率向上と大風量化のための課題

4. 結言

4-1. 開発目標と成果のまとめ

本研究開発により、実用化が困難とされていた小型で安価な大気圧・空気プラズマの安定発生技術を確立した。これは、世界初といえるほどの画期的な技術である。本装置は大気圧・空気プラズマにより酸化力の高いラジカルを多量に発生させ、高濃度の VOC をワンパス処理でき、また分解処理困難な多種芳香族 VOC も処理する事ができた。これにより多種 VOC が混在したガスを同一装置で処理できる可能性を示す事ができた。本装置は汎用的な商用部品（自動車用点火プラグと電子レンジ用マグネトロン）により構成されており、実用化への大きな可能性を示した。

一方、ドラフトチャンバーの排ガス処理装置への適用を念頭に、処理風量アップの検討をしてきたが、目標としていた大風量処理 1,500m³/h～30,000m³/h には到らなかった。ホルムアルデヒド 96%分解 (35ppm、100m³/h)、トルエン 66%分解 (310ppm、16m³/h) を達成し、少量の空気量においては従来にない高効率分解システムである。ドラフトチャンバーへの適用は、現技術では厳しいものの高濃度・小風量 VOC 処理には適する事が分かった。本研究の過程で大気圧・空気プラズマ処理技術に関する多くの知見を得ることができた。

本研究開発における、成果を表 A-(5)-5 にまとめた。

表 A-(5)-5 成果のまとめ

全体目標	達成目標(値)	達成度
大気圧・空気プラズマ発生システムの最適化と VOC 分解・無害化試験	・ C ₆ H ₆ 、C ₇ H ₈ 、HCHO 各単体の分解特性 50～60%以上@200ppm 以下	○
芳香族 VOC の分解特性把握とその分解率の向上 対象 VOC : C ₆ H ₆ (単体), C ₇ H ₈ (単体), C ₈ H ₁₀ (単体), BTX (ベンゼン、トルエン、キシレンの混合物)	・ C ₆ H ₆ 、C ₇ H ₈ 各単体分解率 90%以上 (プラズマパラメータの決定) ・ BTX の分解率 80%以上	◎
大風量処理装置の検討	・ 大容量化装置に関する概念設計とエンジニアリング技術の確立 ・ 大風量化課題抽出	△
	・ 効果確認 1,500～30,000m ³ /h に適用できる装置 (H19-H20 年度)	×
実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定	・ シナリオ、ビジネスモデル策定 ・ 含酸素 VOC、芳香族 VOC、混合物の分解装置適用先業種、市場規模の調査	○
多種 VOC の分解装置デモ機試作と実証試験	・ 1,500～30,000m ³ /h 適用多種 VOC 分解装置デモ機試作、実証試験	×

本研究で開発したプラズマリアクターの仕様を表 A-(5)-6 に示す。

表 A-(5)-6 本研究で開発したプラズマリアクターの仕様（プラズマリアクター9 個構成時）

処理風量	~40m ³ /h
分解率	50%以上
適用 VOC ガス種	ベンゼン、トルエン、キシレン、BTX （特にトルエンは、有機溶剤として 広く使用されている）

又、当初目標としていた固定体排出源市場（1,500m³/h~30,000m³/h）への現達成状況を表 A-(5)-7 に示す。

表 A-(5)-7 VOC 市場適用の現達成状況

業界	風量	濃度	達成状況
ドラフト	100~1,000 m ³ /h	~200ppm	△ (HCOH 単体 ~100m ³ /h)
印刷	10,000 m ³ /h 程度	1~350ppm	×
化学工業	3,000 m ³ /h 程度	未調査	×

4-2. 実用化の見通し

本研究で開発した大気圧・空気プラズマによる VOC 分解は、信頼性が確保された既存の機器要素から構成されており、装置費用・維持費用が低い、オペレーションが容易、狭いスペースにも設置可能などの特徴を有している。当初は、ドラフトチャンバーへの適用を想定していたが、現在開発したものは要求処理風量の約 1/10 であり、即ドラフトチャンバーへの適用は難しい。今後プラズマ点数の増加によるリアクター性能の向上、触媒技術との組み合わせによる性能向上を図り、ドラフトチャンバー用処理風量に対応できる対策を講じる。今後 2 年以内を目処にデモ機での性能検証を行い適用業種での実用化を目指す。

本技術による VOC 処理の特徴は、小風量・高濃度・多成分処理に適する事から、密閉空間内の VOC 処理や、自動車排ガスの有害物質除去等への適用を想定して市場の調査、導入方法などを検討し実用化を進める。

4-3. 委託終了後の展開（平成 21 年 4 月～8 月）

1) 他分野への適用検討

50m³/h 未満の風量で高濃度 VOC をワンパスで処理可能であるため、4-2. で述べたような本装置の特性を活かした実用化先として①自動車排ガス処理、②脱臭・小型空気清浄、③焼却炉排ガス処理、④土壌汚染処理、⑤工程脱脂での仕様検討、実用化課題（コスト、耐久性、安全性、市場調査など）の検討を進めている。

2) 固定体排出源市場（1,500m³/h～30,000m³/h）への適用

現状のリアクターでは処理能力に限界があり、委託期間中に想定していた印刷業界等の固定体排出源 VOC 市場への適用へは 2 桁の能力向上が必要である事を先に述べた。委託期間中 VOC 50ppm～80ppm の初期濃度で、80%以上の分解効率を実現する条件を見出した。ここで、図 A-(5)-14 からトルエンのリアクター性能は物質量換算で 40 [mol/h] である。

一方、印刷業界等固定体排出源 VOC 市場では、

- ①風量 1,500m³/h～
- ②多種 VOC 3,000ppm 分解率 100%

の基本特性が求められており、この場合リアクター性能は、32,600 [mol/h]（トルエン 100% の場合）必要である。現状から VOC 市場へスケールアップする際、 $32,600/40.8 = 800$ 倍のリアクター性能の向上が必要であることが分かる。

固定体排出源市場（1,500m³/h～30,000m³/h）への適用に関しては引き続き目標処理風量を 1,500m³/h とし、以下の課題につき自主開発を継続している。

- ・ 発生デューティ（プラズマ発生頻度）の向上
- ・ 他の汎用技術（触媒等）との組み合わせによる性能向上
- ・ 多点プラズマによるプラズマ点数の単純増加
- ・ 1 点あたりのプラズマ体積の拡大
- ・ 攪拌による反応効率の改善

4-4. 研究発表、特許

1) 研究発表、講演等

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2007年9月12日	第29回真空展 VACUUM2007技術発表会	プラズマ燃焼システムによる自動車燃費改善とVOC処理	池田裕二
2008年2月27日	第3回エコケミカルシンポジウム（NEDO主催）	マイクロ波パルスプラズマ技術を用いたVOCガス低減	池田裕二
2008年10月22日	2008年自動車技術会秋季学術講演会	マイクロ波プラズマを用いたホルムアルデヒドの分解	池田裕二、和智良裕、牧田忍、劉予宇

2) 特許

出願日	受付番号	出願に係る特許等の 標題	出願人
2009年9月17日	特願2009-216275	排気ガス処理装置	イマジニアリング(株)
2009年9月17日	特願2009-216274	ガス処理装置およびプラズマ燃焼装置	イマジニアリング(株)

3) 受賞実績

受賞日	受賞名	受賞タイトル	発表者
2008年12月12日	エコジャパンカップ2008、 ビジネス部門環境ビジネス・ベンチャーオープン「GE特別審査員賞」	マイクロ波パルスプラズマ技術を用いたVOCガス低減	池田 裕二

2-A-(6) デュアルメンブレンシステムによるガソリンベーパー回収装置の開発

プロジェクトリーダー：株式会社タツノ・メカトロニクス、氏名 本橋俊明

実施企業 株式会社タツノ・メカトロニクス

独立行政法人 産業総合技術研究所

1 研究開発の概要

(1) 研究開発の背景・目的

揮発性有機化合物(VOC: Volatile Organic Compound)は光化学オキシダントの原因物質であり、また、最近では浮遊粒子状物質(SPM)生成原因物質の一つとも考えられ、その排出削減技術の開発が重要な課題になっている。平成18年度より改正大気汚染防止法が施行されその削減対策は喫緊な課題となってきた。VOCを含む有機化合物の多くは平成13年度から施行されている「化学物質排出把握管理促進法(PRTR法)」により各事業所から環境(大気、水、土壌)への排出量および移動量が届出されている。環境省 揮発性有機化合物排出インベントリの報告(平成19年5月)によれば、国内のVOC年間総排出量は約120万トンであり、塗装分野が40%程度を占めている。塗装分野以外ではガソリンスタンド(石油給油所:全国4.4万箇所)が10%、石油精油所等が5%といわゆるガソリンベーパーとしての排出量が多い。特にガソリンスタンドは全国にたくさんあり、そのほとんどは市街地や住宅地域に位置することもあり緊急に対策が必要である。また、経済産業省および新エネルギー・産業技術総合開発機構の技術戦略マップでも、ガソリンスタンドでのガソリンベーパーの回収技術は有害化学物質リスク削減への寄与度が大きいと位置づけられている。そこで、本事業ではガソリンベーパーの排出に伴うVOC排出の削減を目的として、ガソリンスタンドで使用するガソリンベーパー回収装置の開発を行った。

現在、ガソリンスタンドにおけるガソリンベーパーの排出削減の対策技術は、法規制の厳しい欧米が先行しており、その技術はベーパーを吸引し地下タンクへリターンする方式が主流である。しかしこの方式では、吸引したリターンガス量は給油体積の約150%にもなり、この多量のリターンガスで地下タンク中のガソリンの蒸発が促進されるというマイナスの二次効果が起こるため回収率は大きくない。そこで欧米ではガソリンベーパーを透過し空気を排除するVOC透過膜を用いてガソリンベーパーを濃縮し、リターンガスを減らして地下タンクに戻す改良型地下タンクリターンシステムが開発されている。この改良型システムは日本でもごく一部に設置されているが、実用上問題点があり広く普及するには至っていない。その問題点とは、一つ目は、VOC透過膜は大気中の水蒸気も透過させるために、回収ベーパー中に水蒸気が濃縮され地下タンクに水が蓄積することであり、二つ目は、既存のガソリンスタンドでは、ガソリン給油機から地下タンクにベーパーを戻す配管を新たに敷設するための工事が必要になることである。そこで本事業では、これらの問題点を解決する回収装置として、大気中の水蒸気を分離除去するための脱水膜と、ガソリンベーパーを回収するためのVOC透過膜で構成されるデュアルメンブレンシステムにより水分フリーのガソリンベーパーを濃縮回収し、凝縮液化させて液化ガソリンとして給油配管に戻す(すなわち給油中の車のタンクに戻す)新方式

の回収装置の開発を目指した。

そのために具体的には、水分含有ガソリンペーパーの脱水に用いる脱水膜と VOC 透過膜を、(独) 産業技術総合研究所が開発し、これら 2 種類の膜を供給口、透過口、未透過排出口を持つ容器へ収納した装置 (モジュール) として連結したデュアルメンブレンシステムにより水分フリーのガソリンペーパーを液化回収する装置を、(株) タツノ・メカトロニクスと (独) 産業技術総合研究所とで共同開発を行った。

平成 18 年度から平成 20 年度にかけて以下 3 つの研究開発項目を実施した。

【研究開発項目①】デュアルメンブレンの研究開発 (平成 18、19、20 年度実施)

【研究開発項目②】ガソリンペーパー回収装置の開発 (平成 19、20 年度実施)

【研究開発項目③】実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定 (平成 19 年度実施)

(2) 従来技術の問題点

前述のように、欧米では VOC 排出規制に対応して給油所ではガソリンペーパー回収システムを設置している。このシステムでは、給油時に発生するガソリンペーパーを給油ノズル先端から計量機内の吸引用ブローを介して地下タンクに戻す「タンクリターン方式」で対応している (図

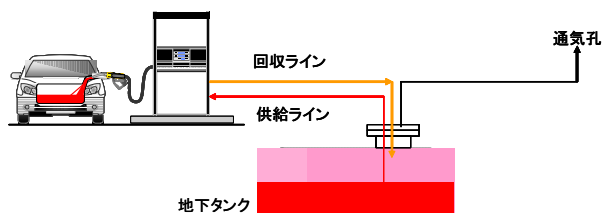


図 A-(6)-1

欧米での地下タンクリターンシステム

しかしながら、50 L の空の燃料タンクに給油する場合、ガソリンペーパーを含む空気放出量は 55~75 L と容積比で給油量の 1.1~1.5 倍に達する。したがって、地下タンク内には給油によって増加した空間の体積より多くのペーパー含有空気が送り込まれることとなり、結果的には地下タンク内のガソリンペーパーが通気口を通じて大気に放出される。この結果、ガソリンの回収率は概ね 85%以下と考えられている。

また、米国では自動車本体のガソリンタンクによってガソリンペーパーを回収する ORVR (Onboard Refueling Vapor Recover) 車が市販されている。上述のタンクリターン式回収システムを設置した給油所では、ORVR 車への給油時にはペーパーがほぼ除かれた後

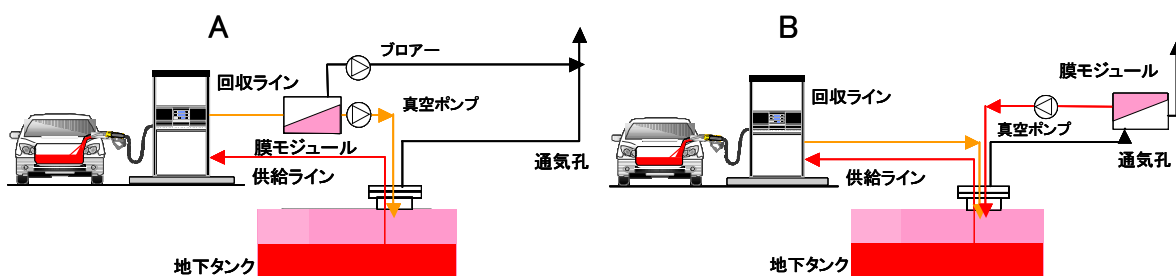


図 A-(6)-2 欧米で試行されている膜分離濃縮による改良型地下タンクリターン方式

の空気が地下タンクに送り込まれるため、地下タンク内でガソリンのベーパー化が促進され、同様に地下タンク通気口から大気へ放出される。事実、米国の給油所では地下タンクのガソリン在庫量が予想外に低減する問題が発生している。このように、一般車が混在する状況下では ORVR 車の導入は VOC 発生量低減の有効な手だてとはなっていない。すなわち、欧米で実施されている「タンクリターン方式」は給油に関わる者に及ぼす健康被害の抑制効果は高いものの、大気への VOC 排出削減の観点からは優れたシステムとは言いがたい。

このような状況から、ドイツではガソリンベーパー回収配管が地下タンクへ戻る直前に VOC 透過によるベーパー濃縮装置をつけて濃縮ベーパーを地下タンクにリターンするシステム(図 A-(6)-2-A)を提案している。米国ではタンクリターンしたときに通気孔から放出されるガソリンベーパーを VOC 透過膜により回収し、放出を抑制する装置が販売され始めている(図 A-(6)-2-B)。これらに用いられている VOC 透過膜は、ガソリンベーパーの溶解度が高く溶解したガソリンが膜中を拡散して透過することで濃縮することができるシリコンゴム膜である。この膜は水蒸気も透過し濃縮するために、湿度の高い日本にこれらと同様のシステムを導入した場合には、地下タンクへ水も蓄積する問題点を有している。

日本に適用する場合のもう一つの問題点として、欧米で導入されている「タンクリターン方式」は給油所全面にガソリン給油機から地下タンクにベーパーを戻す配管を新たに敷設するための工事が必要となる点である。わが国の多くの給油所では狭い敷地に各種ガソリン、軽油の配管が複雑に埋設されており、「タンクリターン方式」のために新たなベーパー回収配管を追加して埋設し直すことは大工事になるばかりでなく実現困難なケースも現れることが予想される。

したがって、大都市部に狭隘な給油所が多く存在するわが国においてガソリンベーパー回収による VOC 削減を効果的に進めるためには、①水分を含まないベーパーを高効率で回収でき、かつ②新たな地下配管を必要としない小型のメンテナンスフリーな回収装置の開発が必要である。

(株)タツノ・メカトロニクスでは NEDO 事業平成 17 年度第 2 回「産業実用化開発費助成事業」として「給油所におけるガソリンベーパー液化回収装置の開発」を実施した。そこで開発した回収装置は図

A-(6)-3 に示すように、車へ給油中に排出されるガソリンベーパーを、給油ノズル先端から計量機を介して吸引するベーパー回収用配管を設け、凝縮器を通して一部を液化し、残りのベーパーはシリコンゴム膜からなる VOC 透過膜モジュールで

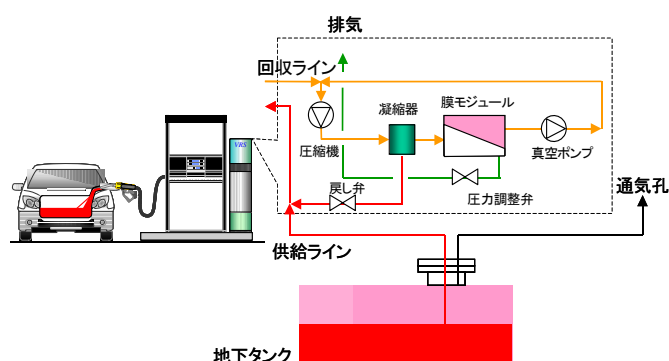


図 A-(6)-3 産業実用化開発費助成事業で開発した回収装置

透過濃縮し再び凝縮器に戻すラインを構成し、凝縮した液体ガソリンは給油機に戻す方式である。この方式は高率のガソリンベーパー回収が可能であるが、ベーパーが1回だけ装置内を通過する時（以下ワンスルーと記す）の液化率は十分に高くなく、給油が終了した後も装置内でガソリンベーパーを循環する必要がある。これは、水蒸気が凝縮器や配管内で氷結する問題を回避するために凝縮器の温度を 0℃以下に下げられないことによる。また、前に述べたように溶解拡散型（図 A-(6)-4 参照）のシリコンゴム膜は VOC とともに水蒸気の透過性も高いため水蒸気は回収ガソリン側に濃縮されるので給油ガソリンに混入してしまう。図 A-(6)-3 のシステムでも、ベーパー回収配管のガスを凝縮器へ入る前に、VOC 透過膜モジュールの透過ガスを吸着剤を用いた水蒸気吸着塔へ通すことにより水蒸気除去は可能であるが、湿度の高いわが国では吸着剤の再生を頻繁に行う必要があり、再生のための熱源やメンテナンス要員が必要となる。このため、水蒸気吸着塔を用いて水蒸気を除去した上で凝縮器の温度を低くしてワンスルー時の液化率を高くするよりも、2~3℃の温度で凝縮液化した後、油水分離器（図 A-(6)-3 では省略）で水を除く方が効率的な運転と考えられるが、油で汚染された水の処理が新たに問題となる。

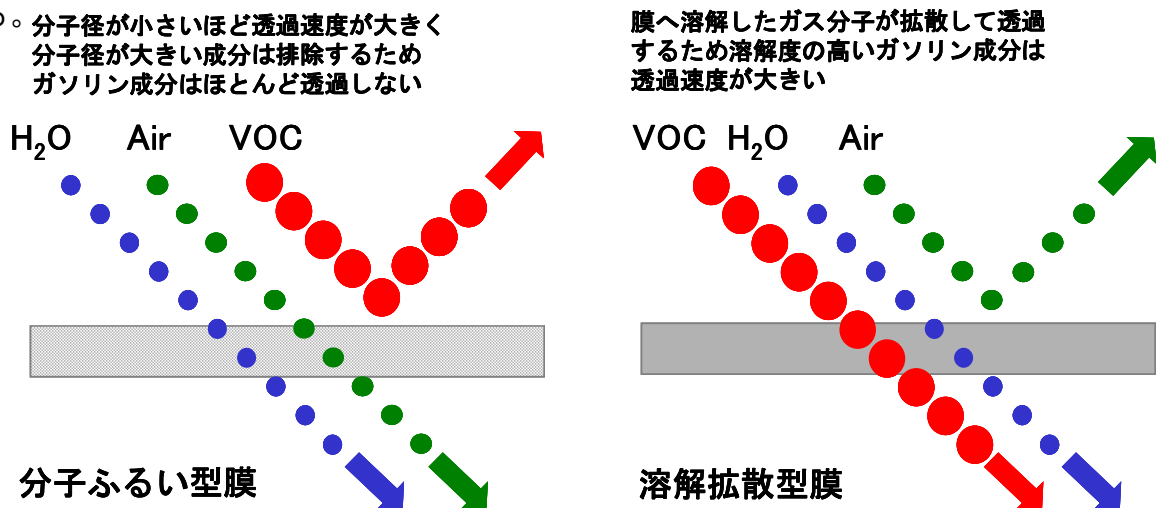


図 A-(6)-4 本事業で開発対象とする分子ふるい型膜(左)と溶解拡散型膜(右)の VOC 透過挙動

(3) 本事業の新規性・有効性

本事業での技術課題は、凝縮器に入る前にガソリンベーパーと水蒸気をメンテナンスフリーな膜分離法を用いて分離することで、ガソリンベーパーの凝縮温度を低くし、高いガソリン液化率を可能とする装置の開発である。そして水蒸気分離には吸着法のように再生操作を必要としないメンテナンスフリーの膜分離法を用いることにした。具体的には図 A-(6)-4 に示すような水蒸気を透過除去できる分子ふるい膜を開発し、シリコンゴム膜でのガソリンベーパー透過濃縮の前段として適用するデュアルメンブレン方式を採用することで、水蒸気が混入することなくガソリンを高効率に回収できる新規な分離システムの構築であり、実現すれ

ば世界初の成果となる。

本事業の回収法は図 A-(6)-5 に示すように、給油ノズル先端から計量機を介するガソリンベーパーの回収用配管を設け、まずガソリンスタンドで使用可能な防爆型かつ無給油型の圧縮機によってベーパーを吸引・圧縮し、脱水膜モジュールを通過させることによりガソリンベーパー中の水分を除去する。水分が除かれたガソリンベーパーは、3 気圧程度に圧縮され凝縮器内で液化する。液化したガソリンは戻し弁を通じて給油機に戻し、残ったベーパー中のガソリンを VOC 透過膜モジュールで透過側に濃縮した後、回収ラインの上流部に戻して再び圧縮し液化するシステムである。

ガソリンベーパーが取り除かれた乾燥空気は、圧力調整弁を経て脱水膜モジュールの透過側をスweepすることで脱水を促進し、最終的に大気へ排出される。これにより 99%以上の高効率で無水の状態でガソリンベーパーを回収すること目標にする。そして、地下タンクへのベーパー戻し配管が必要ないためアイランド上への回収装置の設置だけでベーパーリカバリーが可能となる。

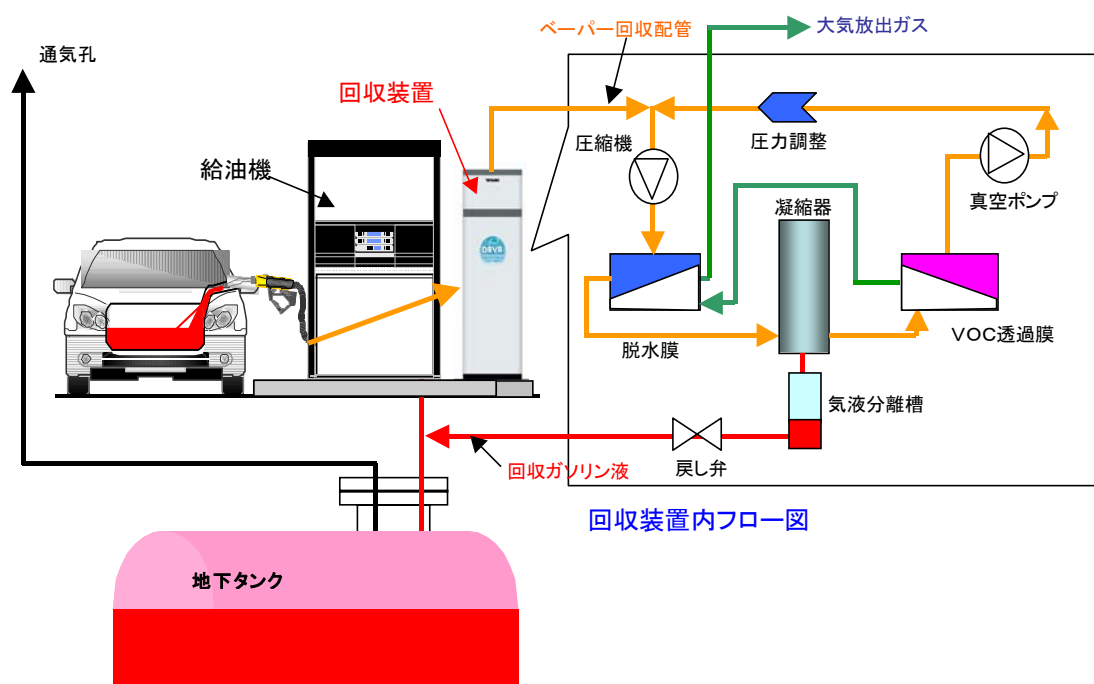


図 A-(6)-5 本事業のデュアルメンブレン方式による回収装置

2 研究方法

本事業では、図 A-(6)-6 の年次計画に表すように、おおよそ、脱水膜及び VOC 透過膜の探索・開発、これら膜のモジュール製造とモジュールの性能評価、耐久試験用の回収装置の製造と運転、実証モデル機の開発の順に行った。そして、脱水膜モジュールではワンスルー時の脱水性能として露点すなわち含有水蒸気が凝縮する温度が -30°C までの脱水を達成できる性能、VOC 透過膜モジュールではワンスルー時のガソリンベーパー回収率として 95%以上を達成できる性能を開発目標とし、回収装置の全体運転でのガソリンベーパー回収率の目標値を 99%とした。

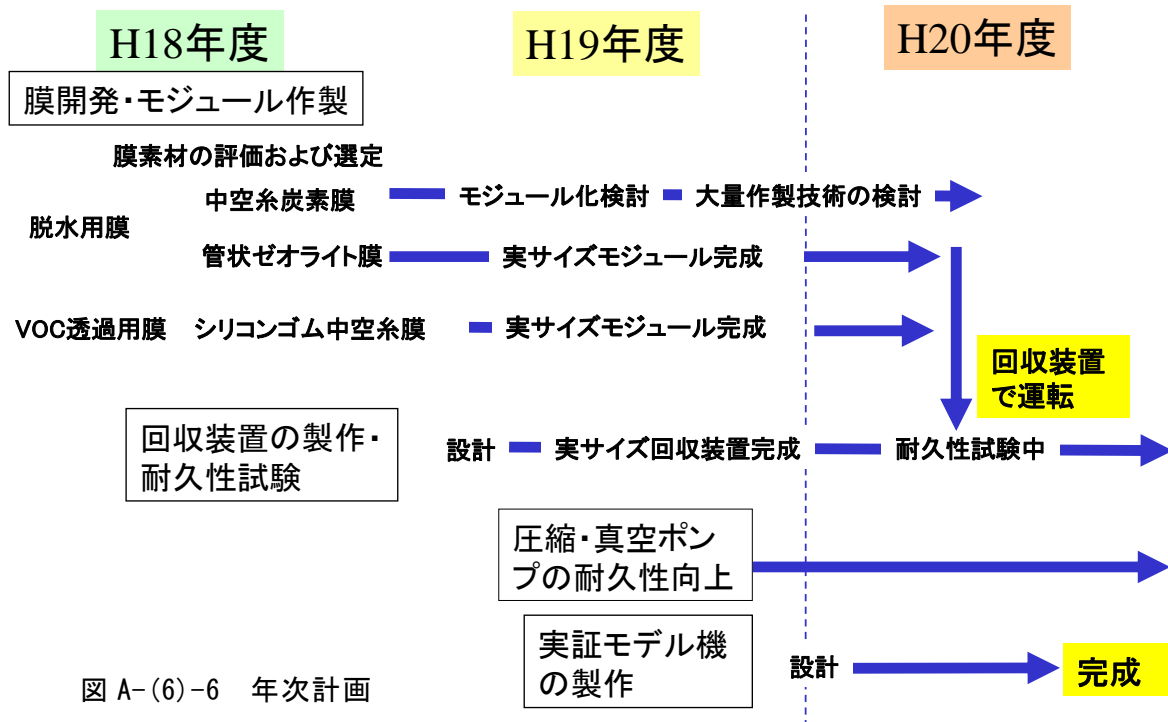


図 A-(6)-6 年次計画

(1) 膜開発および膜モジュール作製

(1) - 1 脱水膜

脱水膜候補を探索するために分子ふるい型透過を示す無機膜の水蒸気透過速度と水蒸気/イソブタンの理想分離係数を測定した。イソブタンはガソリン成分中でもっとも分子サイズが小さい物質であるため、分子ふるい膜の水蒸気/ガソリンパー分離性能の最低値を表す物質として選んだ。結果をまとめると図 A-(6)-7 のようになる。図には本開発スタート時 (H18 年) に設定した目標値と最終目標値 (H19 年) も示した。評価試験用に入手可能な膜および開発する膜の形状がチューブラー型および中空系型であるために、それぞれに目標値を設定した。黄色色の範囲がチューブラー型膜の最終目標性能域であり、それに水色をプラスした範囲が中空系型膜の最終目標域である。それぞれの回収装置用モジュールの容積が 10L 以内になるように設定した。

評価した膜は 2 種類のゼオライト膜 (A, B)、炭化ケイ素 (SiC) 膜および炭素膜であり、炭素膜は原料の前駆体としてカルドポリイミドおよび 2,6-ジメチル-1,4-フェニレンオキシド (PPO) を、PPO はさらにカルボキシル基やスルホン酸基を導入した誘導体 CPP0 および SPP0 を調整して用いた。

これらは、いずれも分子ふるい型透過で水蒸気を選択的に透過する膜であった。図から分かるように試験した膜のほとんどが H18 年目標を達成しているため、水蒸気透過速度を 10~50 倍上方に修正して膜の開発や探索を行った。その中で A 型ゼオライト膜 (図中のゼオライト A 膜) の水蒸気透過速度が $1.3 \times 10^{-2} \text{cm}^3 (\text{STP}) / (\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{cmHg})$ と最高レベルの値であったこと、現時点で実用化に必要な膜面積 (数平方メートルクラス) のモジュール化に直ぐに対応できる市販膜であることの 2 つの理由から、A 型ゼオライト膜を用いた脱水膜モジュールの製作を開始することにした。これは本事業で開発する回収装

置の早期の実用化を想定した選択でもある。ただし、A型ゼオライト膜は液分離用に製作されており、ガス分離として使用する場合は膜の厳選が必要であることや価格が低いなどの問題点もあるために、モジュールのコンパクト化による経済性の向上が期待できるSPPO中空系炭素膜のモジュール化を合わせて検討することにした。

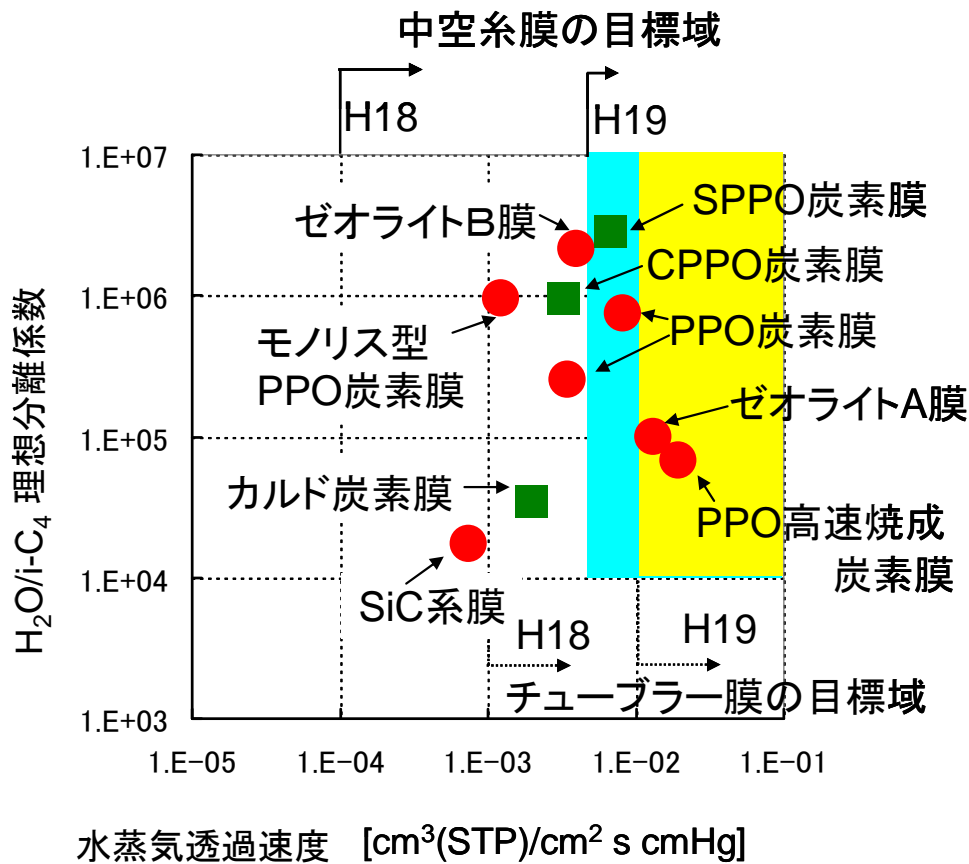


図 A-(6)-7 目標性能域と各種の脱水膜性能の比較

(1) - 2 VOC 透過膜

ガソリンペーパーの透過濃縮用としてシリコンゴム膜を中心に炭化水素ガス/N₂ 理想分離係数を指標に探索を行った。膜サンプルとしてはシリコンゴム膜、微粉シリカゲル含有シリコンゴム膜、微粉活性炭含有シリコンゴム膜、フッ素含有シリコンゴム膜を用いた。シリカゲルや活性炭含有シリコンゴムは炭化水素ガスの溶解度が増加していると推定されたが分離係数の大きな増加は認められなかった。フッ素含有シリコンゴム膜はC6-C7成分の分離係数が増大しているが透過係数が減少することが判明した。そこで、モジュール化の膜としては最も安定して高い分離性を示した従来のシリコンゴム膜を用いることとし、市販のシリコンゴム中空系膜によるモジュール製作を検討した。

(2) 試験設備

本研究開発では、実ガソリンを使用して評価試験を行なうため屋外の模擬ガソリンスタンド設備（図 A-(6)-8 ステージ二階部分：給油装置、耐久評価試験装置、模擬給油タンク等が設置されている評価試験エリア ステージ一階部分：ガソリンスタンド模擬地下タンク設備）を使用し、膜モジュールを初めとする各種コンポーネント評価試験、装置全体の長期耐久試験を行なった。



図 A-(6)-8 模擬ガソリンスタンド設備

3 研究結果

(1) 膜モジュール

(1)-1 脱水膜モジュール（ゼオライト膜）

ゼオライト膜のモジュール製作は、図 A-(6)-9 に示すようなチューブラー型ゼオライト膜（外径 12mm）の単管モジュールでの性能評価試験を行い、その結果を基に多数本の膜による実機モジュールの製作を行った。

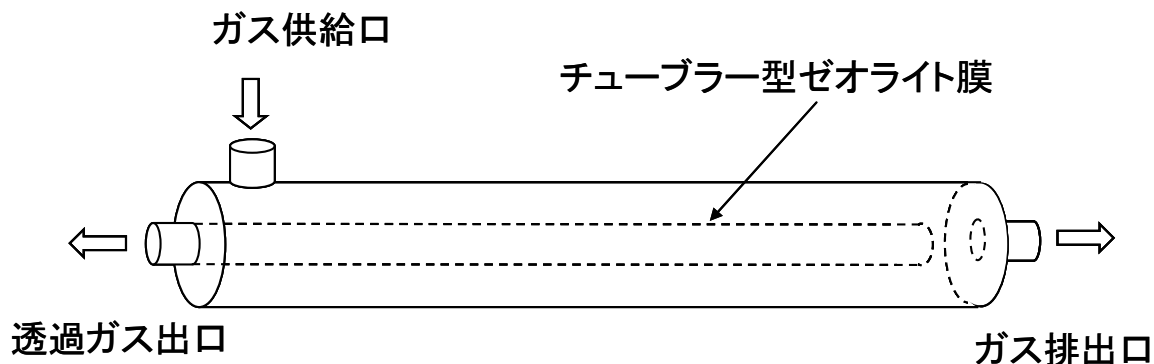


図 A-(6)-9 チューブラー型ゼオライト膜の単管モジュール

ゼオライト膜（外径 12mm）の単管モジュールでの脱水実験を行い、モジュール化の基礎データを取得した。露点すなわち含有水蒸気が凝縮する温度を 30℃に調整した N₂ をモジュールの直径を変えた 3 種の単管モジュールで試験した結果を図 A-(6)-10 に示す。同じ流量（横軸）で比較するとモジュール断面環状路の相当直径(de)が大きいほど処理ガスの露点（縦軸）が高く分離性が低い結果となった。この原因は膜面での濃度分極現象（境界物質移動抵抗）による分離性能の低下であることを明らかにし、膜やモジュール寸法とガス流量等を変数とした物質移動係数の相関式(1)式を決定した。

$$Sh = 0.5Re^{0.67} [Sc(de/L)\phi(a)]^{0.33} \quad (1)$$

ここで、Sh はシャーウッド数と呼ばれ（物質移動係数）（相当直径） / （ガスの拡散係数）で定義されるパラメータ、Re はレイノルズ数と呼ばれ（相当直径）（ガスの流速）（ガスの密度） / （ガスの粘度）で定義されるパラメータ、Sc はシュミット数と呼ばれ（ガスの粘度） / （ガスの拡散係数）（ガスの密度）で定義されるパラメータ、de はモジュール断面の相当直径、L は膜の有効長さである。

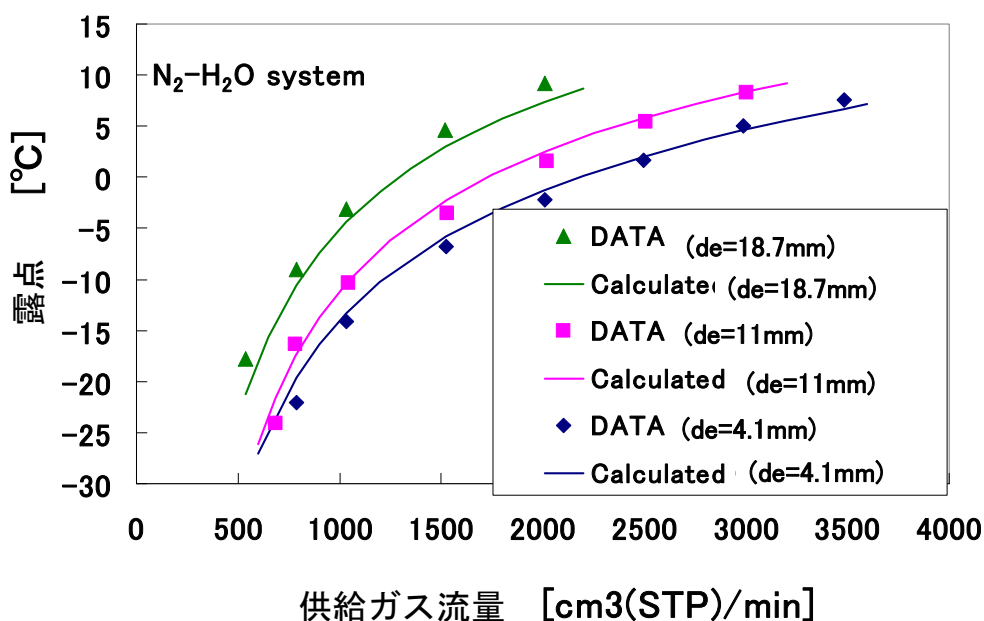


図 A-(6)-10 ゼオライト膜単管モジュールでの脱水試験結果
（供給ガス：露点 30℃、圧力：高压側 0.1MPa、低压側 0MPa）

式(1)を考慮してゼオライト膜単管モジュールでの分離性能を予測した計算値（図中の実線）は実験値と良く一致した。そこで実機モジュール（90 L 毎分のガソリンペーパー処理能力）の必要膜面積の設計を式(1)を考慮して行い、有効長約 700mm の単管モジュ

ールを1エレメントとした33エレメントからなる膜面積約0.9m²の実機モジュール(図A-(6)-11)を作製した。

このゼオライト膜実機モジュールによる実ガソリンベーパーによる評価結果は図A-(6)-12に示すように、ワンスルーで露点-30℃以下の脱水が達成できることを確認した。ただしガソリンベーパーの漏れ率は約5%であった。



図 A-(6)-11 単管エレメント 33 本からなる
ゼオライト膜実機モジュール

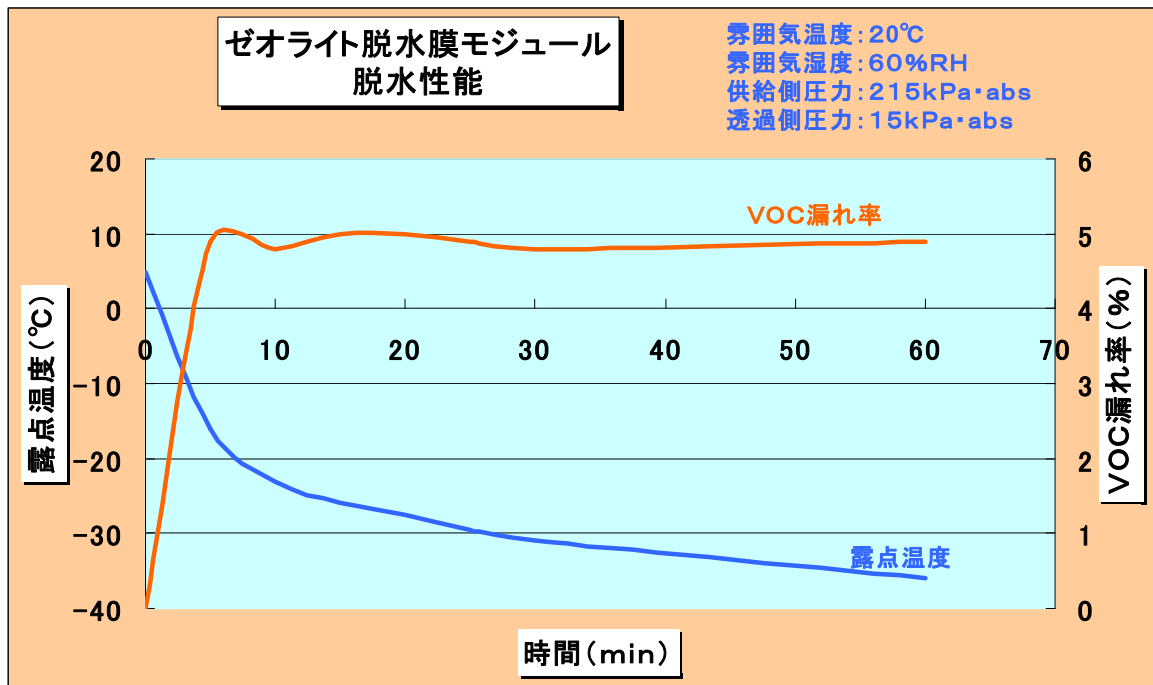


図 A-(6)-12 ゼオライト脱水膜実機モジュールの脱水性能

(1) -2 脱水膜モジュール（炭素膜）

先に(1) -1で述べたように、早期実用化に適したA型ゼオライト膜は膜ロットの厳選が必要であることや価格が低くないなどの問題点もあるために、膜性能が安定しており、かつ、コンパクト化による経済性の向上が期待できるPP0系中空系炭素膜のモジュール化を検討することにした。

安価な前駆体であるポリ2,6-ジメチル-1,4-フェニレンオキシド(PP0)を用いた炭素膜調製法を検討した結果、カルボキシル基やスルホン酸基を導入したPP0誘導体から、水蒸気透過性に優れかつ水蒸気/VOCの分離性が大きい炭素中空系膜を作製することに成功した(図A-(6)-7中のCPP0およびSPP0)。特にスルホン酸基導入PP0誘導体を前駆体としたSPP0炭素膜は、柔軟性に優れモジュール化工程で要求される強度を十分に備えた炭素膜にすることに成功した。図A-(6)-13にSPP0炭素膜における各種ガスの透過速度測定値(縦軸)をガス分子サイズ(横軸)の関係で示した。図から分かるようにガス分子サイズが小さいほど大きな透過速度を示す分子ふるい的な透過挙動を示しており、水蒸気の透過速度は $6.3 \times 10^{-3} \text{ cm}^3(\text{STP})/(\text{cm}^2 \text{ s cmHg})$ で、水蒸気/イソブタンの理想分離係数は3,000,000以上であった。参考としてプロットした高分子膜(ポリイミド膜)の水蒸気/イソブタンの理想分離係数が1500であることから、SPP0炭素膜の優れた分離性が分かる。そして、SPP0炭素膜は水蒸気を高速で透過するがガソリン成分はほとんど透過しないため、水蒸気とガソリンベーパーの分離に十分な膜性能を有していることが明らか

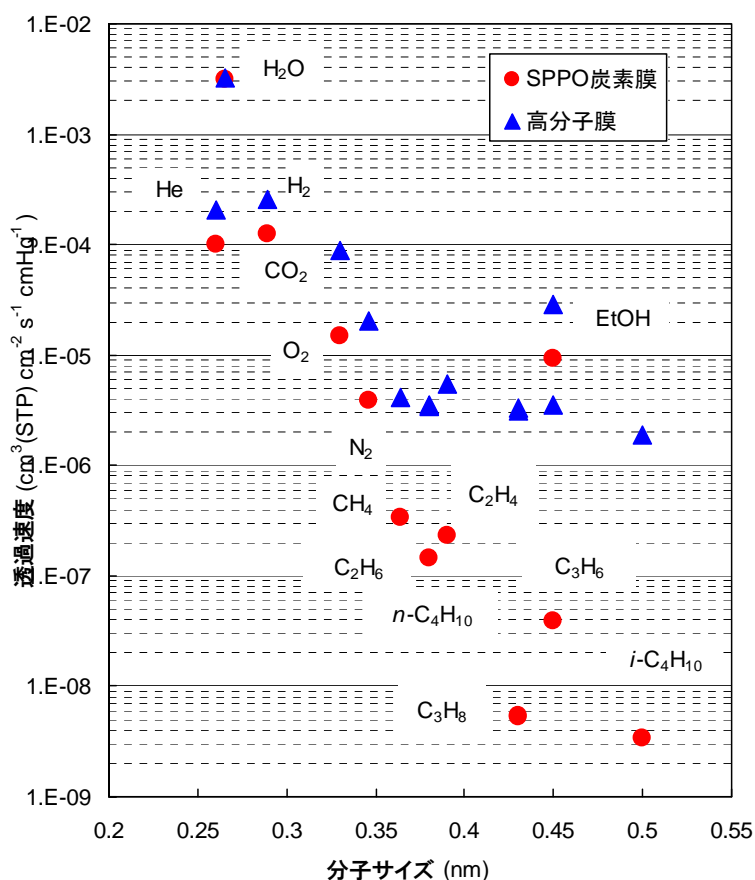


図 A-(6)-13 SPP0 炭素膜の各種ガス透過速度と分子径の関係

である。以上のことから、SPP0 炭素中空糸膜のモジュール化を、プロトタイプモジュールの製作、実機モジュールの製作の順に検討することにした。

図 A-(6)-14 に示すような SPP0 炭素中空糸膜（外径 0.25mm、有効長 19.5cm）2700 本からなるプロトタイプモジュール（膜面積約 0.4m²、10L 毎分のガソリンベーパー処理能力）を作製し、実ガソリンベーパーの脱水性能を評価した。評価結果は図 A-(6)-15 に示すように、ワンスルー操作で露点-25℃以下の脱水処理が可能で、かつ、ガソリンベーパーの漏れはほぼゼロと優れた性能であった。脱水性能はモジュールの大型化により更に向上することが見込まれる。この結果を受けてより大型の実機タイプモジュールの作製へと展開した。



図 A-(6)-14 SPP0 炭素脱水膜のプロトタイプモジュール（膜面積 0.4m²）

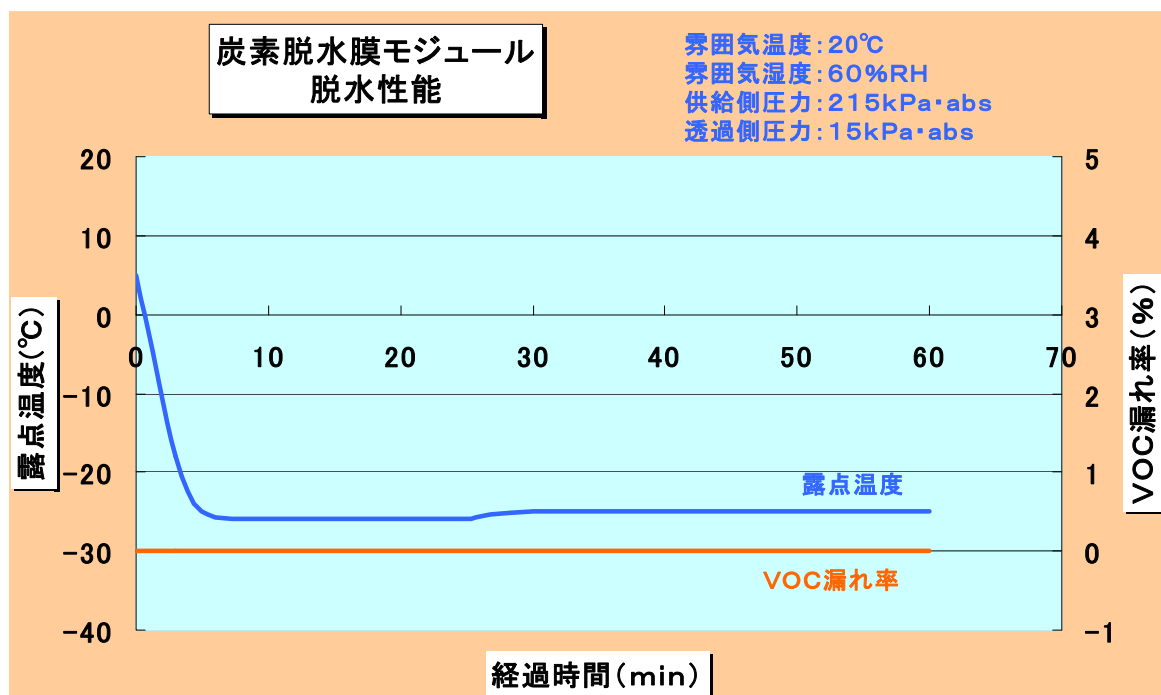


図 A-(6)-15 炭素脱水膜プロトタイプモジュールの脱水性能

(1) - 3 VOC 透過膜モジュール (シリコンゴム膜)

モジュール製作は市販のシリコン中空糸膜 (外径: 0.25mm、内径: 0.17mm、膜厚 40 μ m、有効長 60cm) による小型テストモジュールの製作、実機サイズモジュールの製作の順に行った。シリコン中空糸膜 5000 本からなる小型テストモジュールでは、イソブタン/窒素の分離実験で膜の理想分離係数から予想される分離性能がモジュールで観測されたことから、次のステップとして実機モジュールの作製を行った。

実機モジュールとしては、中空糸膜の芯側を高圧流とする膜面積が約 10m² のモジュール (中空糸膜 25000 本) の作製を行った。(図 A-(6)-16)。初期製造モジュールの分離性能は小型テストモジュールの分離性能からの予想値より大きく低下し理想分離係数 α^* が 5 程度の分離性能であった。原因としては糸束径が 5.5cm と大きい為に、糸束の中心部で膜を透過してきたガスが糸束内からスムーズに排出されず滞留するためと推定された。そこで、初期モジュールの糸束径が 5.5cm であったものを、糸束径 2.5cm の 7 本へ分割した改良モジュールを製造した。その評価結果を図 A-(6)-17 に示した。図から分かるように糸束の小径化を行った改良モジュールでは糸束内でのガス滞留の影響は軽減化され、理想分離係数 α^* が 50 相当の分離性能まで回復した。

この改良型シリコンゴム中空糸膜モジュールで行ったガソリンベーパー回収の連続試験のワンスルー時回収率の結果を図 A-(6)-18 に示す。改良モジュールは、入力流量が 80, 40, 20 L/min でガソリンベーパーの回収率が約 96, 98, 99%と流量を下げるに従い回収率が上昇する一般的な関係を示したが、十分に実用できる高い回収性能を示した。目標であった、ワンスルー操作で 95%以上のベーパー回収を達成できるモジュールの作製を完成させた。



図 A-(6)-16 VOC 透過膜モジュール (実規模サイズ)

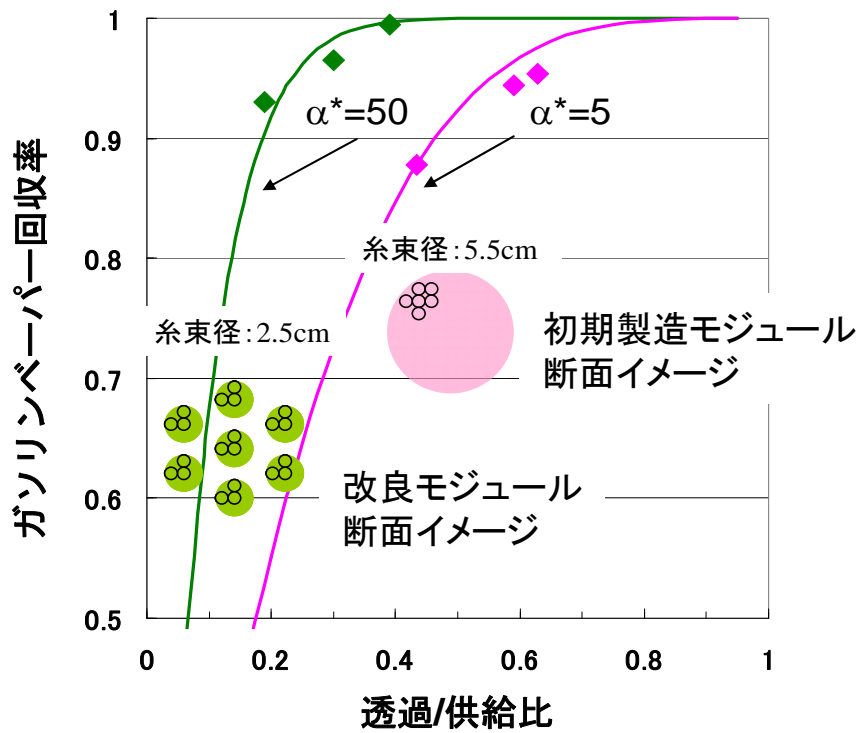


図 A-(6)-17 シリコンゴム中空糸膜の実機サイズモジュールでのガソリンベーパー回収率（ワンスルー操作）

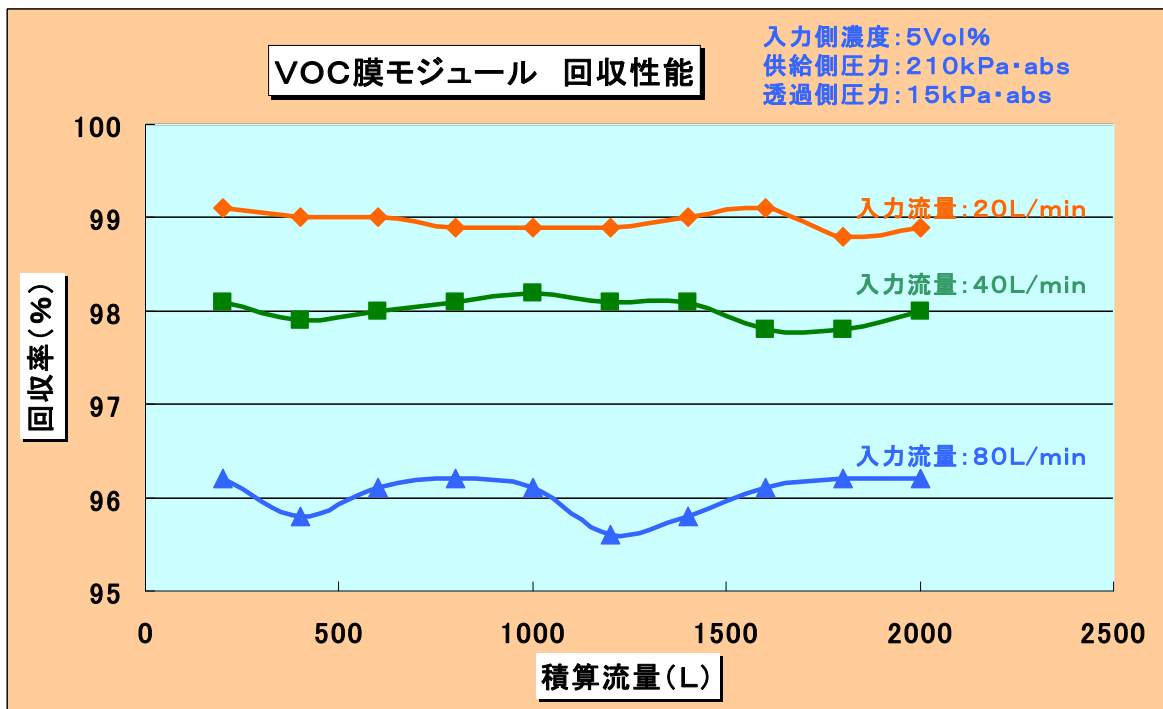


図 A-(6)-18 VOC透過用シリコンゴム膜実機モジュールの回収性能

(2) ガソリンペーパー回収装置

(2)-1 耐久試験装置

(1)-1 及び (1)-3 で開発を行った脱水膜モジュール(ゼオライト)・VOC 膜モジュールおよび凝縮器や圧縮機(圧縮ポンプ)、真空ポンプ、電磁弁、電子制御機器等で構成される耐久試験装置を開発し、模擬ガソリンスタンド設備で耐久試験を行った。ガソリンペーパー回収装置は、膜開発 ⇒ 膜のモジュール化 ⇒ 耐久試験装置 ⇒ 実証モデル機の順に開発した。耐久試験装置の目的は、膜モジュールを含む構成機器のシステム性能評価および耐久性能の検証、装置全体の振動・騒音・回収率等に関するデータを収集するための装置である。

この後に開発する実証モデル機は、この耐久試験装置の各種データを基に法的認可を取得し、市場投入をスムーズに行うことを目的としている。なお、VOC の漏れが極端に低減可能で、コスト的に有利な炭素脱水膜モジュールは継続研究にて開発・装置への組み込みを実施し、実フィールドへの投入を目指す。図 A-(6)-19 に耐久試験装置の図を示す。

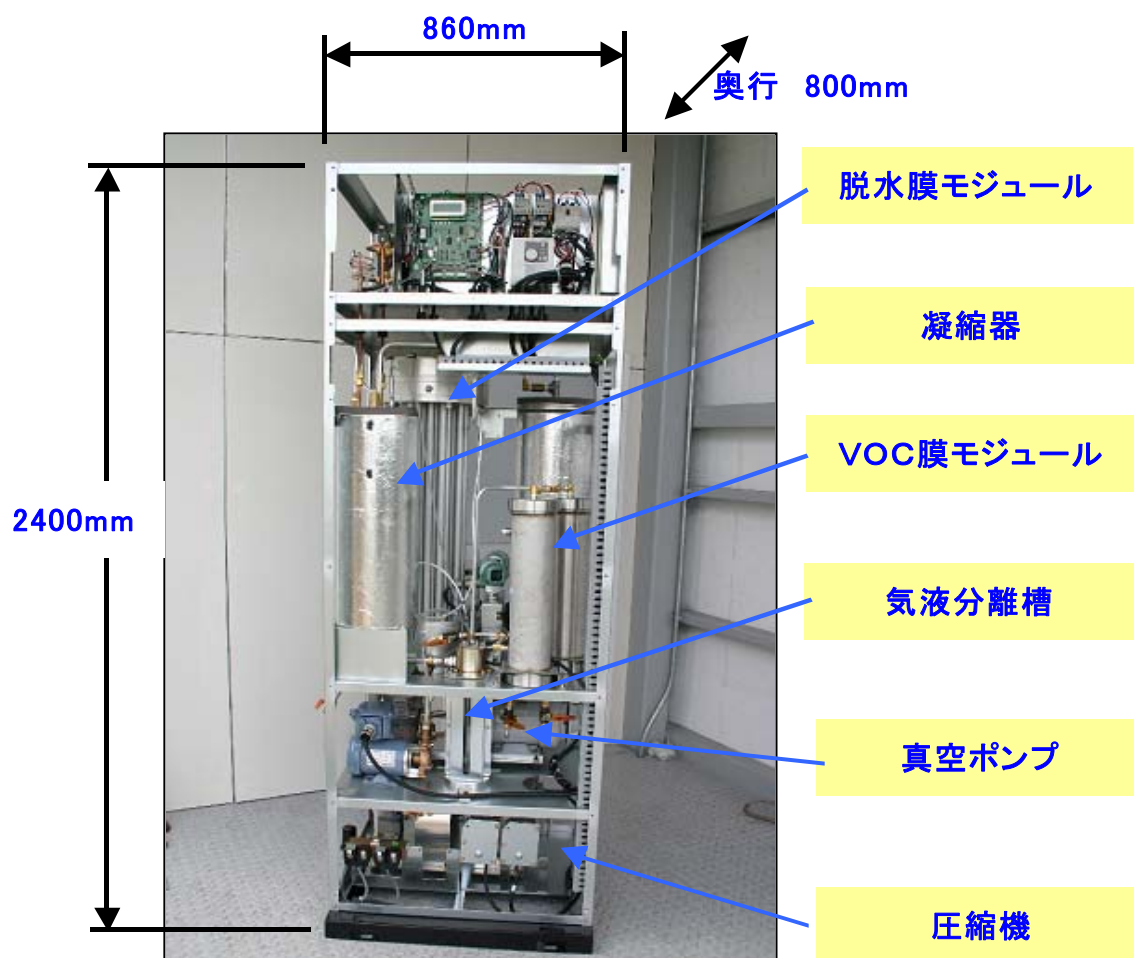


図 A-(6)-19 耐久試験装置

(2) -2 耐久試験装置の耐久性能データ (回収率)

耐久試験装置にて測定したガソリンベーパー回収率(装置内に入力されるガソリンベーパー量に対する装置内に回収されたガソリンベーパーの割合)のデータを図A-(6)-20に示す。横軸の積算給油量 930KL は実ガソリンスタンド約 1.2 年分の給油量に相当し、ベーパーの回収率は概ね 97%をキープしており、ベーパーリカバリー規制が世界で最も厳しい米国カリフォルニア州の規制値が 95%であることを考慮すると実フィールドへの投入も十分可能な数値で、実用許容値と言える。また、脱水膜をゼオライト膜からプロトタイプの炭素膜モジュールに一時的に変えて運転した結果はベーパーの漏れを極端に低減でき、当初の目標であった回収率 99%以上を達成できた。

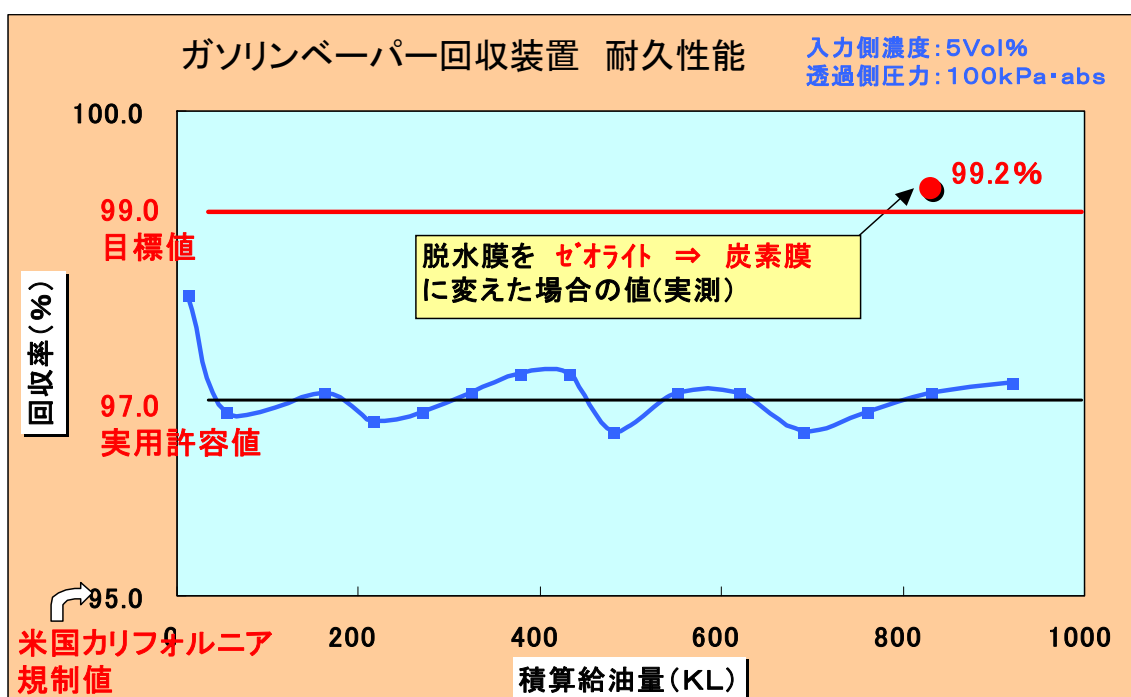


図 A-(6)-20 ガソリンベーパー回収装置の長期運転での回収性能

(3) 耐久試験装置 回収液分析

回収ガソリン液の品質を調査するために「揮発油等の品質の確保等に関する法律(略称:品確法)」に沿った検査を第三機関に依頼し、判定を行い、問題の無いことを確認した。

- ◇検査機関 ——— 社団法人 全国石油協会 千葉試験センター
- ◇検査規格 ——— 品確法 強制規格

(4) 実証モデル機

耐久試験装置によって収集されたデータを基に圧縮機・真空ポンプ、凝縮器等の改良、構成機器のレイアウト変更を行い、構成機器もコンパクト化かつ高性能となり、危険物技術保安協会（KHK）の法的な認可も取得した（平成 21 年 3 月 27 日付）。これによりガソリンスタンドの実フィールドに設置可能な実証モデル機が開発できた。

量産化へ向けては、コスト的に有利な炭素脱水膜モジュールの開発を完了すべく、継続研究にて開発・装置への組み込みを実施し、実フィールドへの投入を目指す。

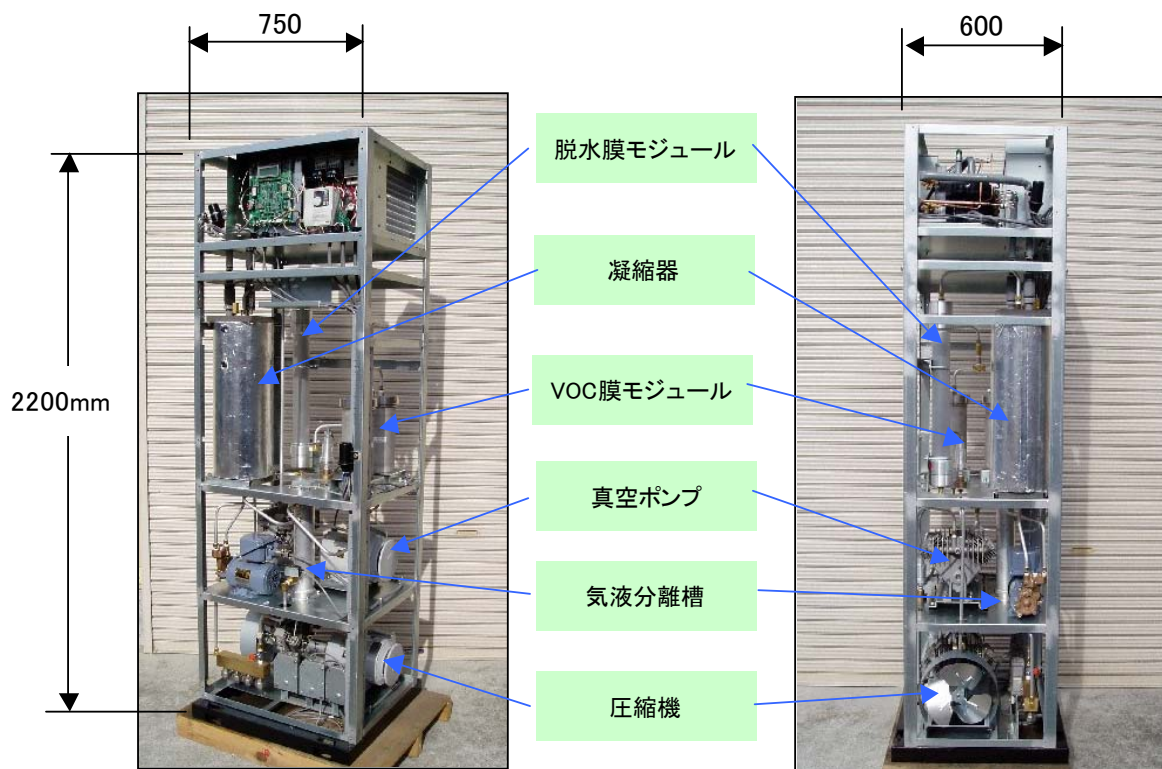


図 A-(6)-21 実証モデル機

(5) 実フィールドへの設置イメージ

本ガソリンベーパー回収装置1台に対して給油機を3台接続した代表的な設置パターンを図A-(6)-22に示す。

ガソリンベーパーの吸引配管は、従来の地下タンクまでの施工工事と比較し、それぞれの給油機から回収装置間のみのため、配管長さも短く、地上に近い場所に埋設できるため（地下タンクは給油機から離れた場所で、地上より2mほどの地中にある）、比較的容易である。また、本装置は各給油機から吸引したガソリンベーパーを液化させ1台の給油機へまとめて戻すため、ガソリン液配管は同一アイランド上（床面より15cm位高く、計量機を設置するためのステージ）にある給油機の1台にのみ施工されるので、さらに工事が簡単に済ませることができる。

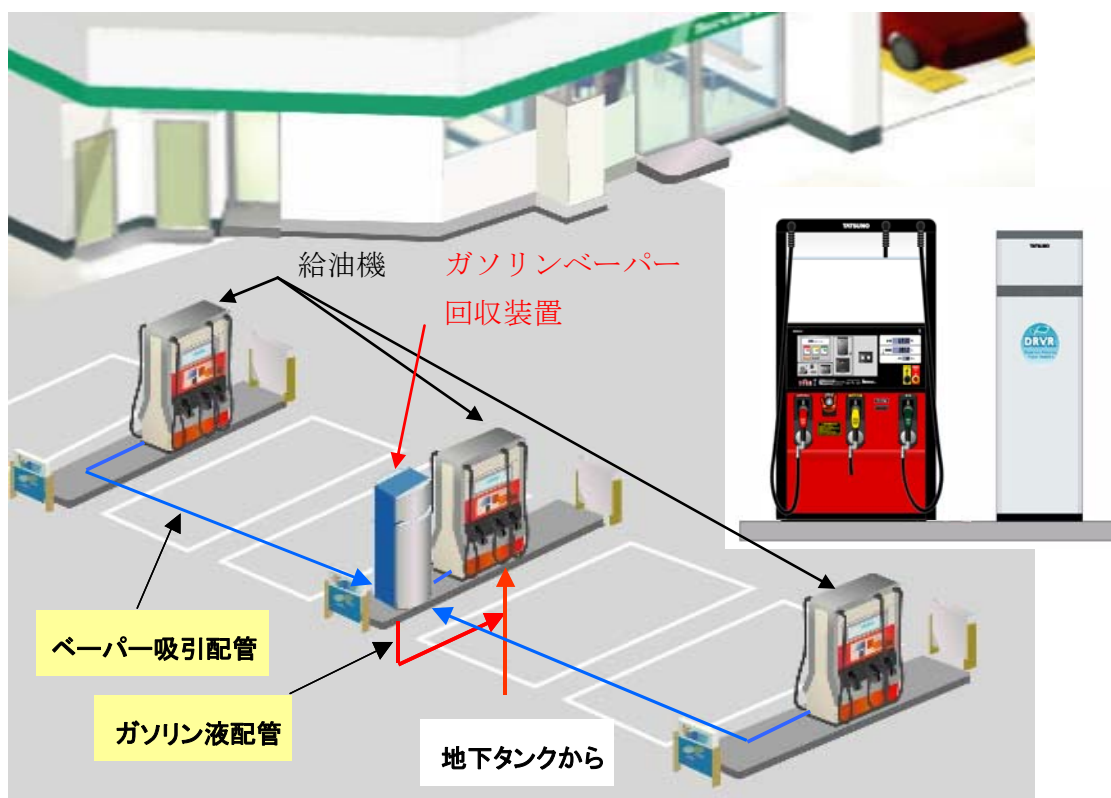


図 A-(6)-22 回収装置の石油給油所への設置イメージ

(6) 実用化に資する導入シナリオと法規制・競合技術の動向

◇導入シナリオ

最初のターゲットはガソリンスタンドで販売量が多く、投資効果が現れやすいセルフスタンドからの導入を開始して、順次給油専任者のいるアテンダントスタンドへも普及を進めていく。また、ガソリンベーパー回収装置の技術的原理や仕様等をベース

に、石油業界以外で当該技術開発成果の適用可能性が期待される業種を抽出すると、具体的には、揮発性が高く、回収再利用のメリットを有する程度に付加価値が高い材料を取り扱う業種という条件を満たすものを対象とし、グラビア印刷業界、クリーニング業界、工業充填業界が上げられる。その結果、グラビア印刷業界では複数の VOC が混合した形での回収になるなど導入が難しいと判断されたが、単独溶媒を利用する（場合がある）クリーニング業界、工業充填業界については導入可能性が期待される。なお、実際の導入にあたっては適用条件の精査を行う必要がある。

◇法規制の動向（ガソリンスタンド業界について）

本プロジェクトで開発する装置の事業化にあたって影響が大きいと想定される法規制の整備・改正に係る動向を調査した。

調査対象は、平成 18 年度社団法人産業環境管理協会調査と環境省調査において記載がある自治体を主に行った。

Stage II（*1）への規制強化を考えている自治体は現時点ではなかった。また国による規制、施策も現時点では計画されていない模様である。したがって、規制強化に伴う市場拡大を期待せず、ガソリン資源を無駄にしない技術的イノベーションとして経済的インセンティブをガソリンスタンド側に付与し、民間の活力をいかした普及を図ることが得策であると考えられる。

◇競合技術の開発動向

ガソリンスタンドでの給油時のガソリンベーパー対策というニッチな市場であることもあり、競合技術はさほど多くない。車両側の対策である ORVR（*2）は車両製造コストに転化されることや車両スペース的な制約が大きいこと等から導入が促進される方向にないと考えられる。Stage II（*1）対策についても法制化の見通しが無いなどの理由から研究開発・事業主体は少ないと想定され、国内事例を見ると本開発以上のペースで事業化フェーズに移行できる競合他社はない（海外からの輸入販売を行っている一部事業者を除く）と推察される。

*1 ガソリンスタンドにおいて車両給油時に大気へ放出されるガソリンベーパーを回収する行為

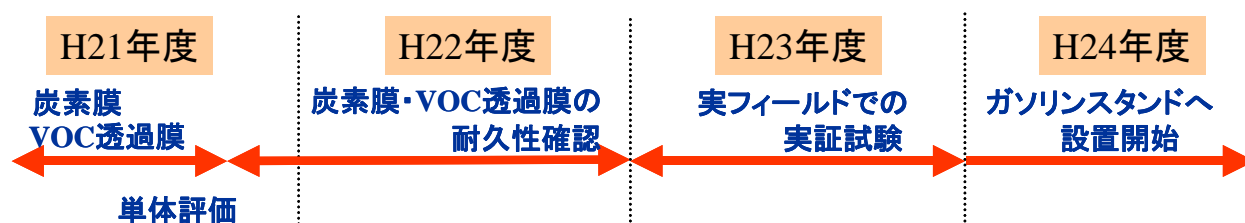
*2 Onboard Refueling Vapor Recovery 車両側でのガソリンベーパーの回収

4. 結 言

（1）事業化計画

実証モデル機を完成させたが、量産を目指すことになるとコストが非常に高いハードルの一つと成ってくる。コスト低減のため、各機器の型化等を推進しなければならない。また、コスト的に有利な炭素脱水膜の大型モジュールの開発を早期に完了させ、

平成 22 年度までに炭素脱水膜、VOC 透過膜を組み込んだデュアルメンブレンシステムの実証モデル機での耐久性能試験を終了し、平成 23 年度より実フィールド（ガソリンスタンド）での実証試験を開始する予定である。また、合わせて各種データを収集することにより、平成 24 年度から開始が予定されるガソリンスタンドへの設置導入の円滑化を図る。



	適応分野	目標設置台数	ガソリン販売量	削減物質	ガソリンペーパー削減量
平成24年	セルフS/S	1,000台	210万KL	トルエン、キシレン ベンゼン、エチルベンゼン その他VOC	4, 200KL
平成29年	セルフS/S、 アテンダントS/S	20,000台	2,700万KL		54, 000KL
平成34年	印刷業・塗装関係				

(2) 目的に照らした達成状況

(2) - 1 デュアルメンブレンの研究開発

◇脱水膜モジュール（ゼオライト膜）

ワンスルー操作で目標とする露点-30℃まで脱水できる分離性能の実用規模サイズモジュール（90 L 毎分のガソリンペーパー処理能力）を開発できた。但し、膜性能のバラツキから来ると思われるペーパーの漏れが観測され、漏れ率は5%であった。

◇脱水膜モジュール（炭素膜）

ワンスルー操作で露点-25℃まで脱水できるプロトタイプモジュール（10 L 毎分のガソリンペーパー処理能力）において露点-25℃まで脱水できる分離性能とペーパーの漏れゼロのモジュールを開発できた。モジュールの大型化を達成することにより露点-30℃以下までの脱水も可能と見込んでいる。

◇VOC透過膜モジュール

ワンスルー操作で目標とするペーパー回収率95%以上のシリコンゴム中空糸膜による実規模サイズモジュールを開発できた。

(2) - 2 ガソリンペーパー回収装置の開発

◇実用規模サイズのガソリンペーパー回収装置の開発を完了し、模擬ガソリンスタ

ンドでの1.2年分に相当する運転データの収集および耐久評価を実施した。運転の結果、回収ガソリンは目的どおり無水状態であり、総合回収率は、米国カリフォルニア州VOC規制値である95%をクリアし、耐久期間を通しての平均で実用許容値と考える97%に達することができた。また、脱水膜として、モジュール大型化が進行中の炭素中空糸膜に変えることにより、目標とした99%以上の回収率を達成できることを確認した。

◇実ガソリンスタンドのアイランド上に設置可能なコンパクトでコスト面を考慮した許認可モデル機の開発を完了し、法的認可（危険物保安技術協会）を平成21年3月27日付けで取得した。

項目（1）の炭素脱水膜モジュールの実規模サイズ開発が完了次第、装置内に組込を行い、実フィールド（ガソリンスタンド）でのデータ収集と耐久評価を実施する。

（2） - 3 実用化に資する導入シナリオとビジネスモデルの策定

本研究の開発成果をガソリンスタンド市場へ導入することが最終目的であるため技術開発と並行して、開発成果の円滑な事業計画を策定することが求められる。従って、当該開発成果の円滑な事業化に向けて、市場導入シナリオの検討ならびに市場環境の動向調査を第三者機関に依頼した。

他業種への応用展開・法規制の動向・競合技術等を調査し、開発成果の事業化シナリオが明確化された。

2-A-(7) 含塩素 VOC 高効率分解固定化装置の研究開発

プロジェクトリーダー：JFEソルデック株式会社 社長 久松喜彦

実施企業 JFEソルデック株式会社

1. 研究概要

1. 1. 背景

平成13年4月から導入されたPRTR制度（環境汚染物質排出移動登録）や平成15年6月の化審法（化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律）の改正を受け、製造、利用、廃棄のライフサイクルに亘って化学物質を適切に管理することが社会の潮流となった。これらの化学物質は広く大量に使用され、多くが排出されるため、環境リスクが懸念されている。特に、含塩素揮発性有機化合物（以下含塩素VOCと記述）に関しては、取扱っている事業者の規模が小さく、また、現状規制の緩やかなこともあり、十分な対策が採られないままに大気放散されている。しかしながら、環境保全要求は次第に厳しいものになってきており、近い将来、含塩素VOC規制強化が施行され、中小事業者の事業継続に大きな支障となることが予想される。

1. 2. 研究の意義

含塩素VOCの既存除去技術としては、「直接燃焼法」、「活性炭吸着(回収)法」などがあるが、設備費、運転費等から中小の事業者には採用が難しい面がある。

本プロジェクトは、含塩素VOCのエンドオブパイプ対策技術の中から、削減効果が大きく、汎用性が高く、かつ、安価で、特に中小の事業者等でも自主管理が促進できる実用化基盤技術を開発することにより、環境リスクの低減に寄与するものである。

1. 3. 研究の目的

本研究では、含塩素VOCを分解し、塩素を塩化カルシウムとして固定化して、安全な廃棄或いは他製品の原料として再利用することを可能ならしめるプロセスを開発することであり、具体的には以下を目的とした。

- 1) ジクロロメタン(DCM)等の含塩素VOCの安価(¥50/kg以下)な分解固定化剤の開発
- 2) 中小規模事業所で既存技術を上回る含塩素VOC分解固定化プロセスの開発
- 3) 上記を適用した分解固定化装置の商品化・事業化の検討

2. 研究方法

2. 1. 分解固定化剤の開発研究

2. 1. 1. 試験概要

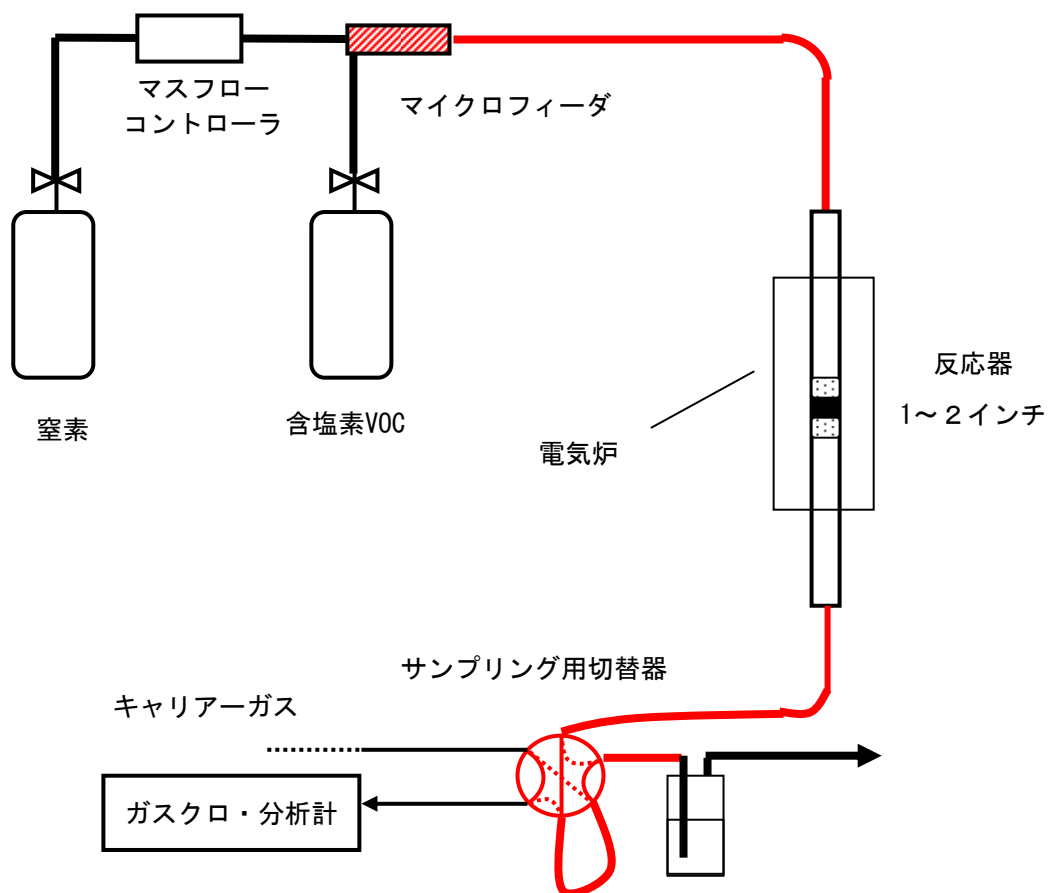
本研究は、東京工業大学の秋鹿らのグループによる炭素含有高機能酸化カルシウムがフロン分解固定化に活性を示す(「炭素含有アルカリ土類金属酸化物及びそれを用いた

有機ハロゲン化合物の分解処理法」特願2005-329242)という知見に基づいて開始された。

含塩素VOCの分解固定化性能に影響を及ぼす因子は、分解固定化剤として用いる酸化カルシウムの「炭素含有」、「高表面積化」の2つと考えられ、安価な炭素の添加方法、及び高比表面積を持つカルシウム材料の探索の2方向で研究を進めていた。しかし、炭素含有高機能酸化カルシウムは酸素のある雰囲気では発火の危険があり、次の固定化プロセスの開発に大きな障害となっていた。一方、高比表面積を持つカルシウム材料の探索から、高比表面積を持つ水酸化カルシウムが見出され、発火等の危険性が無いため、それを原料に分解固定化剤を製作し、以下に示す試験により検証を行った。

2. 1. 2. 試験装置と実験方法

分解固定化剤の研究開発に用いた小型試験装置を以下に紹介する。試験装置フローを図 A-(7)-1に示す。



図A-(7)-1 試験装置フロー

分解固定化剤を充填した反応管に所定濃度の含塩素有機化合物を流し、30分間隔で反応管出口ガスの分析を行った。反応管(1~2インチ)に充填する固定化剤量は約5時間の試験が可能な量とした。反応温度は副反応を抑えるため450~600℃とした。

2. 2. 分解固定化プロセスの検討

2. 2. 1. ベンチ試験装置

より大型の反応装置での分解固定化剤性能の検証、及び反応器の設計に必要な反応速度の解析データを採取・解析するために図 A-(7)-2に示すベンチ試験装置を作成し、試験を実施した。結果は3.1.2項に示す。



図A-(7)-2 ベンチ試験装置

【装置概略仕様】

原料ガス流量	100	NI/min.
原料中のVOC濃度 (DCM)	~10,000	ppm
反応器サイズ	8インチ	(6インチ)
充填層高さ	600	mm
分解固定化剤充填量	~5	kg (2.5kg)

2. 2. 2. 反応速度解析

ベンチ装置より得られたデータを解析し、分解固定化剤の反応速度を算出すると共に、それを使ってProcess Systems Enterprise社製の「gPROMS」による反応器のダイナミックシミュレーションを行い、そのサイズ等を決定した。

2. 3. 装置化検討

前項で求められた設計諸元をベースに含塩素VOC分解固定化装置の試設計を行った。

2. 4. 商業化・事業化のための検証

2. 4. 1. 実証試験設備の概要

商業化に向けた検証として、ジクロロメタン（DCM）を用いて精密機器の脱脂洗浄をしているF社において、実ガスによる実証試験を実施した。図 A-(7)-3に実証試験設備全体、図 A-(7)-4に実証試験の構成を示す。



図 A-(7)-3 実証試験設備の全景

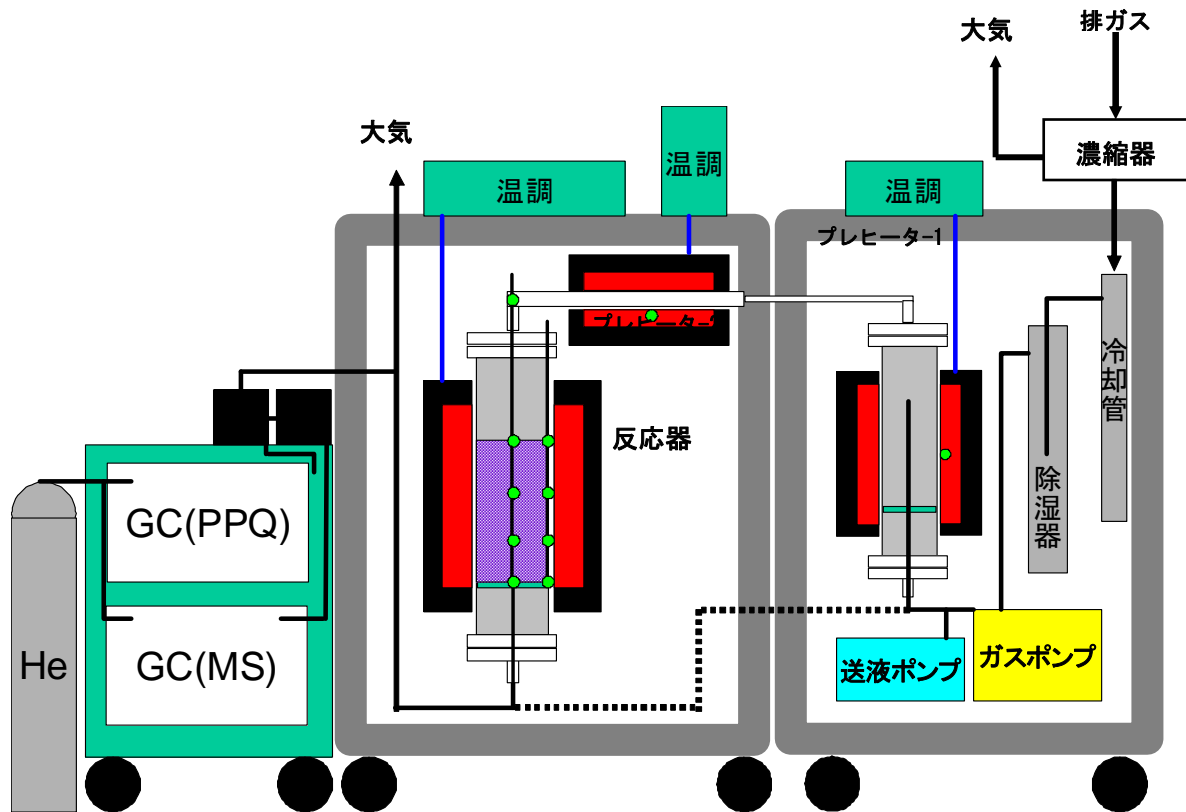


図 A-(7)-4 実証試験用の装置構成

実証試験装置は、濃縮器と分解固定化装置から構成されている。図A-(7)-3の上方にある水色の装置が濃縮器である。この濃縮器で、排気ダクトから一部抜き出した排ガスのDCM濃度を約10倍に濃縮して、小屋の中に設置されている分解固定化装置に供給する。濃縮器で濃縮されたDCMを含む反応ガス(濃縮ガス)は、冷却管で水分を凝縮・分離し、ガスポンプで2段のプレヒータで加熱された後、反応器に供給される。

2. 4. 2. 実証試験水準と実験条件

実証試験は連続運転と断続運転の両方を行った。本装置が導入されると予想される工場は日中操業し、夜間休止している場合が多い。そのため、断続運転試験を行い、分解固定化装置の運転に支障の無いことを確認した。

1) 排ガス条件

- | | |
|----------|------------------|
| ① 排ガス流量 | : 38L/min |
| ② DCM 濃度 | : 1,000~2,500ppm |
| ③ 水分濃度 | : 3~4vol. % |

2) 反応器仕様

- | | |
|---------------|---------|
| ① 反応器サイズ | : 6 インチ |
| ② 分解固定化剤充填量 | : 2.5kg |
| ③ 反応器入口ガス温度 | : 360°C |
| ④ 反応器電気ヒータ設定値 | : 580°C |

3. 研究結果と考察

3. 1. 試験及び検討結果

3. 1. 1. 分解固定化剤開発のための試験結果

図 A-(7)-5に高比表面積水酸化カルシウムを原料とした高機能酸化カルシウムのトリクロロエチレン (TCE) 分解固定化反応での測定結果を示す。この材料は窒素流通下または空気流通下のいずれにおいても、TCEを効率良く分解固定化することが分かった。

図A-(7)-6にジクロロメタン (DCM)、図A-(7)-7にテトラクロロエチレン (PCE) の高比表面積酸化カルシウムの分解固定化性能試験の結果を示す。

図に示すように、PCEでは若干低い成績であったが、TCE/DCMに対しては非常に良い成績が得られ、高比表面積水酸化カルシウムを原料とした高機能酸化カルシウムが含塩素VOCの分解固定化剤として優れていることが分かった。更に、添加物の必要がないため、分解固定化剤の製造コストがより安価となり、発火の危険もないため、分解固定化装置コストも低廉化できる可能性が高くなった。

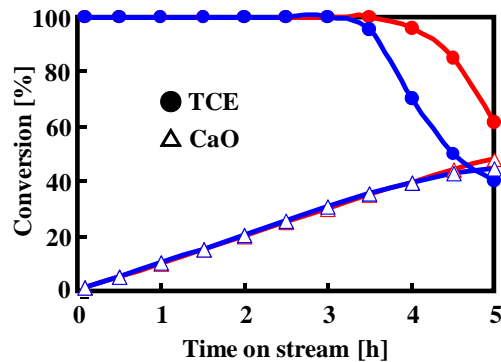


図 A-(7)-5 高比表面積水酸化カルシウムを原料とした分解固定化剤の異なるガス雰囲気流通下での TCE 分解固定化反応活性測定結果 (充填量 0.02、0.035mol)；赤：窒素/ 青：空気

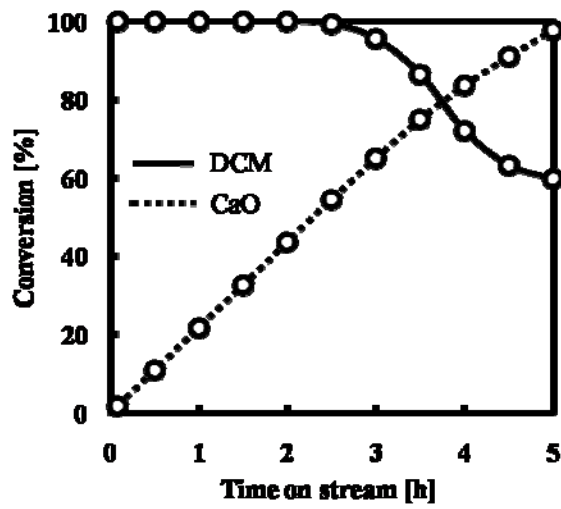


図 A-(7)-6 550°Cでの DCM 分解固定化反応結果
(試料充填量 : 0.1mol)

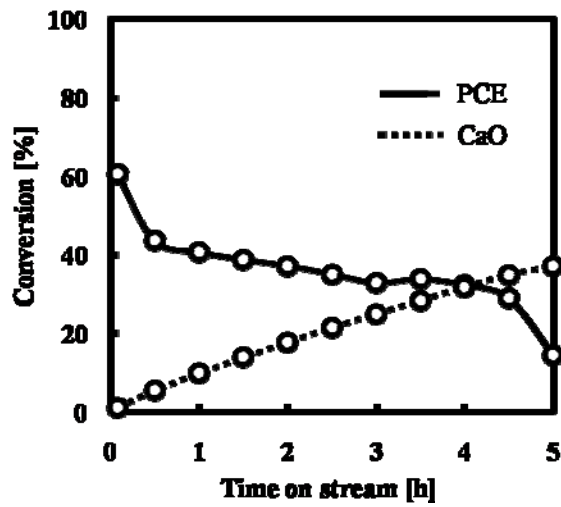
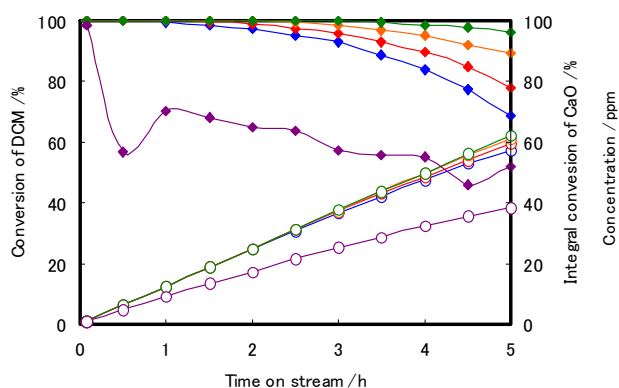


図 A-(7)-7 550°Cでの PCE 分解固定化反応結果
(試料充填量 : 0.1mol)

3. 1. 2. ベンチ試験結果

前述の分解固定化剤を探索する試験において、高比表面積酸化カルシウムが含塩素VOCの分解固定化剤として最も優れていることがわかり、工場から排出される実ガスによる実証試験に繋げるためのスケールアップ試験としてベンチ試験を実施した。この試験をもとに実証試験での反応器サイズ及び試験運転パラメータを決定した。

図A-(7)-8に1~2%DCMの分解固定化反応の温度をパラメータとした実験結果を示す。図に示すように、450℃以上で安定した分解固定化性能が得られることがわかり、実証試験では、本ベンチ試験で最も良い性能を発揮した600℃近傍で試験を実施することにした。



水酸化カルシウム200gを5L/minの空気下で450
そのうち16.8gを反応管に充填 前処理中に出口ガス中水分なし 760ml/min DCM1%

青:071130(450℃) 赤:071219(500℃) 橙:071220(550℃) 緑:071221(600℃)
紫:071227(400℃)

図 A-(7)-8 DCM 分解固定化反応 (400-600℃)

3. 1. 3. 実証試験結果

1) DCM分解率とCaO積算転化率

本実証試験は、商業機としての適用性を判定するため試験であり、工場の操業が性能にどのように影響するかを確認することが目的であった。図A-(7)-9に実証試験の全水準での経時間でのDCM分解率とCaO転化率を示す。138時間の運転において、十分な性能を有していることが判る。通常、このような工場では運転は日中に行い、夜間は停止しているが、それに合わせた断続試験でも十分な性能を発揮できることが確認できた。

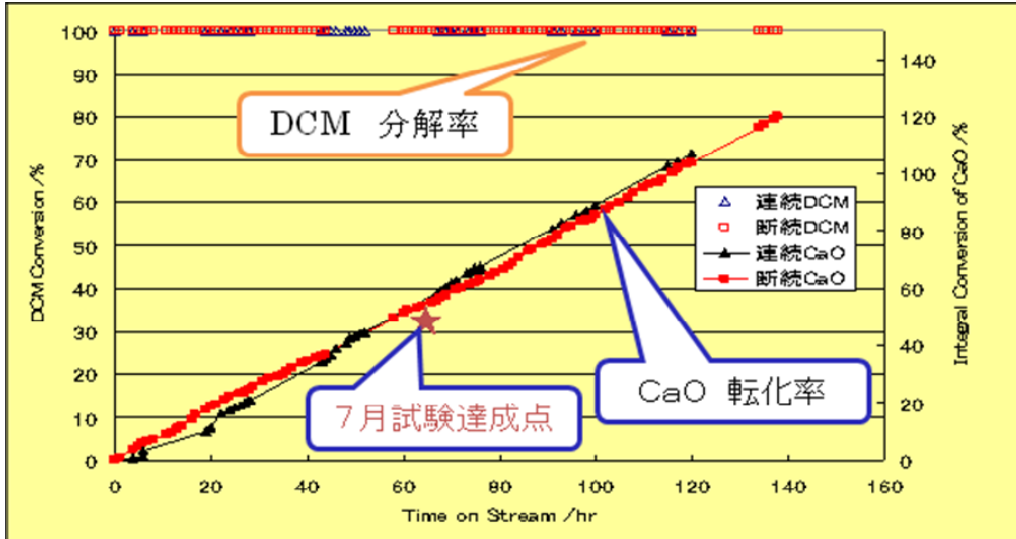


図 A-(7)-9 DCM 分解率と CaO 積算転化率

2) 濃縮器廻りDCM濃度

図A-(7)-10に濃縮器廻りのDCM濃度の測定結果を表わす。濃縮器入口(洗浄槽排ガス)DCM濃度は90~590 ppm、反応器入口(濃縮ガス)DCM濃度は500~3500 ppm、濃縮器排ガスDCM濃度は0~40 ppmとなっており、濃縮器は変動する洗浄槽排ガス濃度に十分対応し、DCMを濃縮することが実証できた。

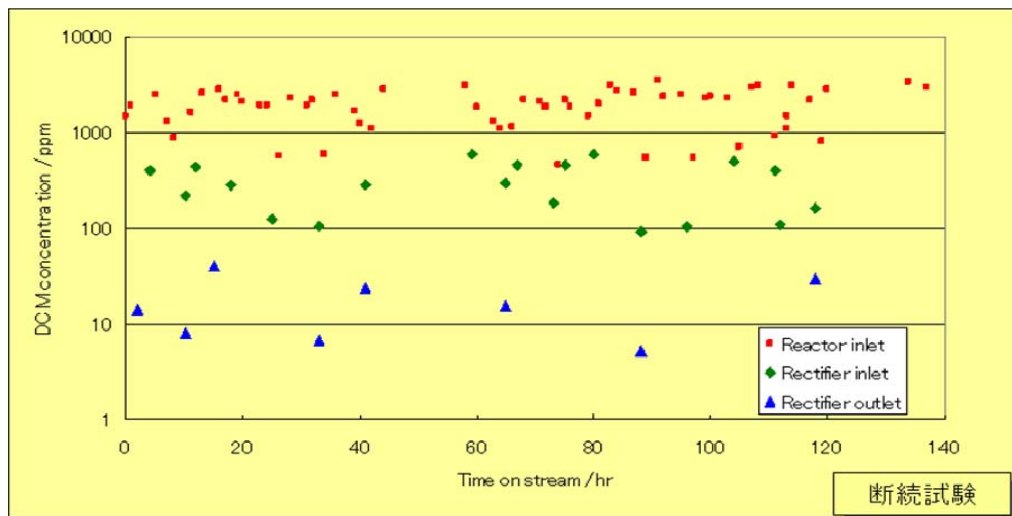
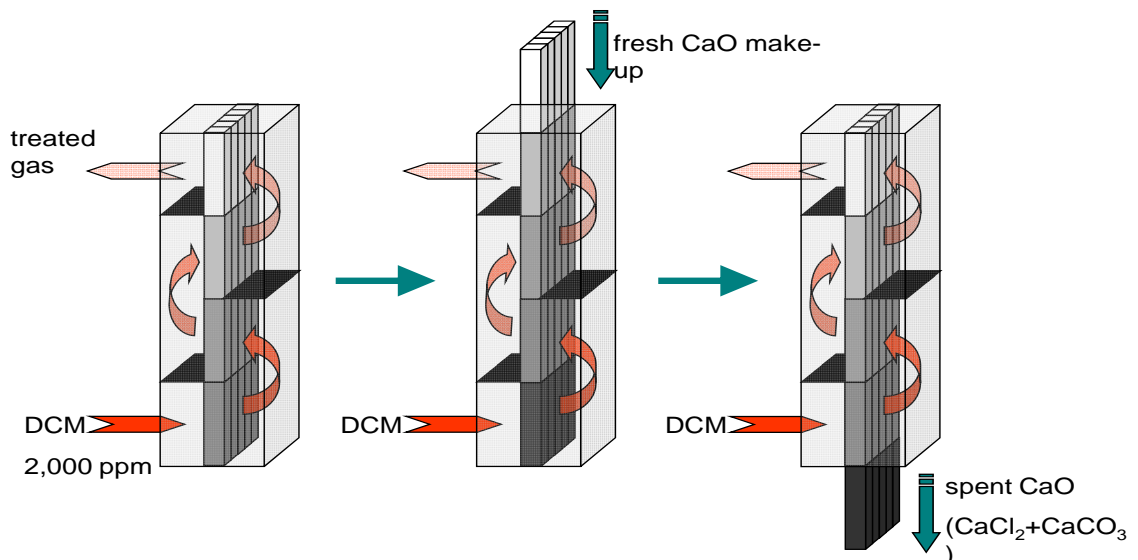
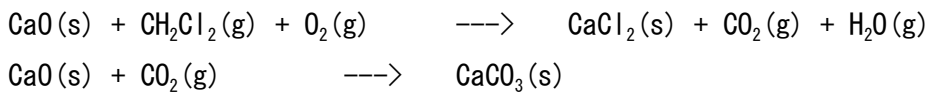


図 A-(7)-10 濃縮器廻り DCM 濃度

3. 1. 4. 反応器ダイナミックシミュレーション

ベンチ試験までのデータから反応速度定数等を整理し、シミュレーションソフト「gPROMS」を用いて以下の反応機構をモデリングし、CaCO₃への反応を含む、DCMの分解固定化反応のダイナミックシミュレーションを行った。図A-(7)-11に含塩素VOC分解固定化装置の反応器廻りの概要を示す。

含塩素VOC (DCM) を含む排ガスが反応器の下部に導入され、分解固定化剤を通過しながら上昇し、上部から排出される。分解固定化剤と接触したガス中のDCMは下記の反応式により、分解固定化される。



図A-(7)-11 含塩素VOC分解固定化装置の反応器概要

分解固定化剤はある時間で破過するため、続けて運転するためには、反応器中の分解固定化剤を入れ替える必要がある。反応器内の分解固定化剤の破過は排ガスの入口部（反応器下部）が進んでおり、出口付近（反応器上部）は破過が進んでいないため、全部を交換すると、活性の残っている部分も無駄に捨てることになる。そこで、分解固定化剤の入れ替え周期を最適化するためシミュレーションを実施した。48時間（2日）毎に反応器全量の25%の分解固定化剤をメイクアップすれば、DCM除去効率の低下無く、連続運転が可能なが分かった。一方、全く分解固定化剤のメイクアップをしない場合、5～6日の連続運転で破過する。上記のように反応器全量の25%を2日毎に分けてメイクアップを行うことにより、2～3日長く、同装置の運転が可能であることが、シミュレーションにより、明らかになった。

3. 1. 5. 装置化検討結果

前述のシミュレーション等を通して、実装置の試設計を行った。以下にF社向けに実施した含塩素VOC分解固定化装置の試設計結果を示す。

F社は精密部品の洗浄用にDCMを用いており、その洗浄槽から排出される排ガスを大気中に放散している。これは、排出量の最も多い工業洗浄用途の典型的な例である。その設計条件は次の通りである。

1) 設計条件

- | | |
|----------------|---|
| ① 排ガス流量 | : 85 Nm ³ /min(5,100Nm ³ /hr) |
| ② 年間 DCM 排出量 | : 19.4 ton/Y |
| ③ 排ガス温度 | : 25°C |
| ④ 排ガス中の水分 | : 2.5 vol. % |
| ⑤ 排ガス中の DCM 濃度 | : 200 ppm (平均)、700 ppm (最大) |
| ⑥ 濃縮器出口温度 | : 50°C |
| ⑦ 濃縮器出口 DCM 濃度 | : 2000 ppm (平均) |
| ⑧ 濃縮器出口水分 | : 2.5 vol. % |

2) 実装置フロー

図 A-(7)-12に高比表面積酸化カルシウムを分解固定化剤として用いた実装置フローを示す。平均200 ppmのDCMを含む排ガスは、濃縮器に供給され、内蔵されたハニカムローターにより、排ガス中のDCM及び水分が吸着、除去される。DCMが10 ppm以下まで低減された排ガスは大気に放散されるが、ハニカムローターの再生ガスとして、その一部(10%程度)をブローで昇圧し、熱交換機で約150°Cに加熱した後、濃縮器に供給する。ハニカムローターに吸着されたDCM及び水分は再生ガスの持つ熱により脱着され、出口再生ガスのDCMの濃度は平均2,000 ppm、ガス温度は約50°Cとなる。水分は分解固定化反応に悪影響を及ぼすため、除湿器で8°Cまで冷却し、分離、除去する。除湿されたガスは、熱交換器で520~530°Cに加熱され反応器に供給される。ガスは反応器の下部に供給され内部に充填されている機能化CaOとクロスフローで接触し、DCMは3.1.4項に記載する反応式に従い、分解固定化されてCaCl₂、CaCO₃、CO、CO₂とH₂Oになる。この反応は発熱反応で、出口ガスの温度は580°Cになり反応器上部から排出される。この排ガスにプロパン等の燃料を加え、下流の接触反応器で生成したCOとともに燃焼させることにより、ガスの温度を760°Cまで上げる。高温になった排ガスは供給ガスと熱交換して130°Cまで冷却され、濃縮器から排出されるクリーンなガスと合流して大気中に排出される。

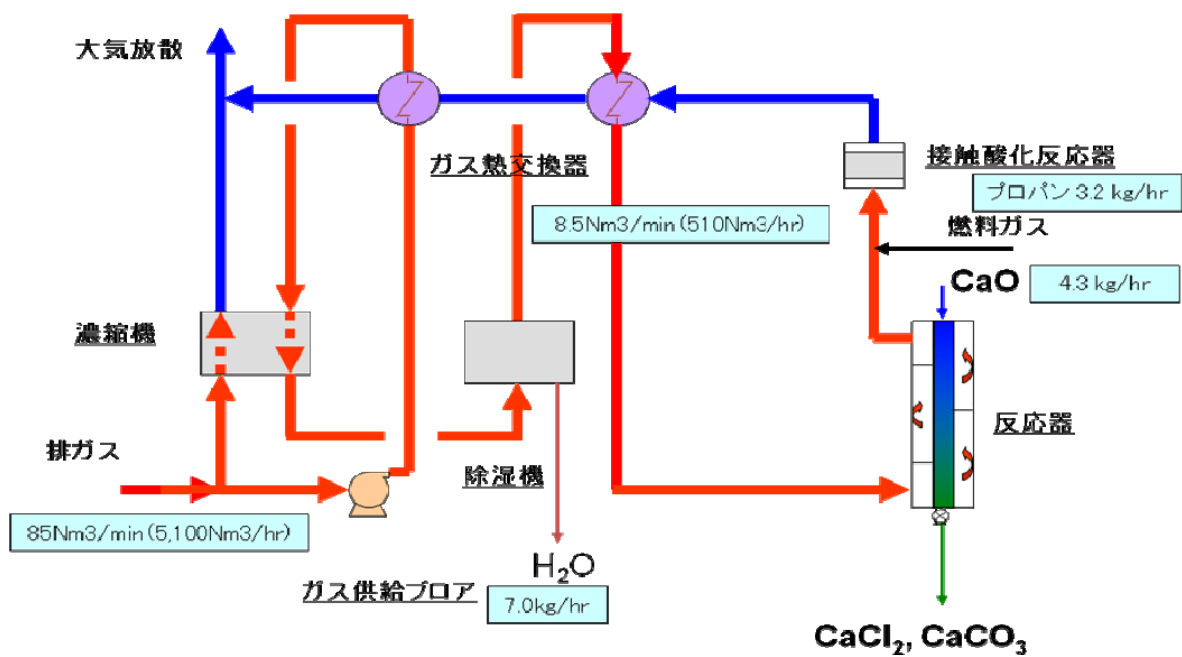


図 A-(7)-12 実装置フロー

3) 設備3Dモデル

図 A-(7)-13の装置3Dモデルに示すように、与えられた洗浄工場建屋脇2 m × 11 mの敷地にコンパクトに設置できる。

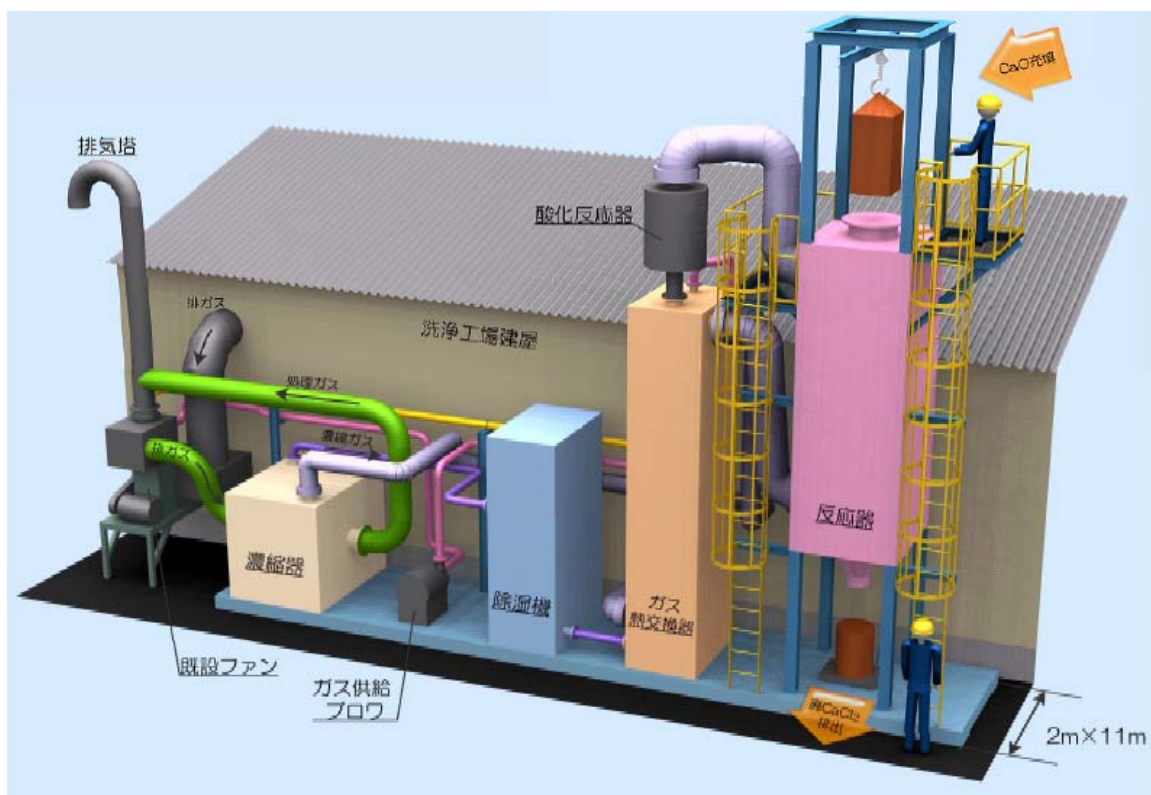


図 A-(7)-13 F社向け VOC 分解固定化装置

3. 2. 商品化の検討

3. 2. 1. 競合プロセスとの比較

F社向け含塩素VOC分解固定化装置の試設計を行い、競合プロセスとの比較を行った。その結果を表 A-(7)-1に示す。「直接燃焼法」は含塩素VOCを含む排ガスを燃焼分解する燃焼炉の他に、排ガス中の塩酸を湿式吸収法等で無害化する装置が別途必要であり、また燃焼炉の昇・降温に時間がかかるため、工場が24時間連続操業しているような、規模の大きな事業所に適している。また、「吸着方式」では吸収工程と脱着工程を繰り返すことにより含塩素VOCを回収する。従って、吸着槽が複数必要であるため、反応器コストが高いのと敷地面積が広く必要である。

含塩素VOC分解固定化装置は、反応器内で含塩素VOCの分解から固定化までを行うシンプルなプロセスのため設置面積が最小で、唯一F社の希望エリアに収まるだけでなく、建設費も安価になる。また省エネルギーなプロセスのため、運転費も安く、競合プロセスに対して総合的に有利であることが判明した。

表 A-(7)-1 競合プロセスとの比較

処理法	本分解固定化装置	吸着回収(繊維状活性炭)	吸着回収(粒状活性炭)	直接燃焼	
敷地	2m×11m(22m ²)	2.5m×12m(30m ²)	4.5m×15m(68m ²)	5m×20m(100m ²)	
装置高さ	6.5m	4m	4m	8m(排気塔16m)	
特徴	プロセス	600°C分解固定化反応 ／熱回収	常温吸着／連続蒸気脱着 ・冷却凝縮回収	常温吸着／バッチ蒸気脱着 ・冷却凝縮回収	850°C燃焼分解 ／急冷中和
	除去率	・90-95%	・95%	・95%	・90-95%
	エリア	・コンパクト 22m ²	・コンパクト 30m ²	・大エリア要 68m ²	・大エリア要 100m ²
	吸着材	・固定化剤は極めて安価	・繊維状活性炭は高価	・粒状活性炭は安価	—
	補機	・濃縮機 ・除湿機	・ボイラー ・冷却塔 ・チラー	・ボイラー ・冷却塔 ・チラー	・濃縮機 ・HCl除外設備
	運転費用	吸着回収より省エネルギー シンプルなプロセスで安い	・連続吸着脱着より 蒸気、電力を多消費 ・やや高い	・バッチ吸着脱着、連続吸着より低い が運転が複雑	・高温燃焼で燃料、冷却水、 中和薬剤を多消費 最もエネルギー浪費
建設費	・安価	・やや高い	・高い	・最も高価格	
総合評価	◎	○	△	×	

3. 2. 2. 販売のターゲット

第3者機関と協力して排出源の調査を行い、その結果を処理風量とDCM濃度でマッピングし、含塩素VOC分解固定化装置の適用範囲を図 A-(7)-14に示した。また、図から中低濃度かつ少処理風量の領域でDCM、TCE排出事業者が多いことがわかる。これらの事業者は従来処理方法では経済ベースに乗らない領域にあり、本含塩素VOC分解固定化装置のターゲットとなる。

また今後、首都圏並みの条例規制強化（神奈川県、横浜市、川崎市：50ppm）で新たに需要が生じることが期待できる。

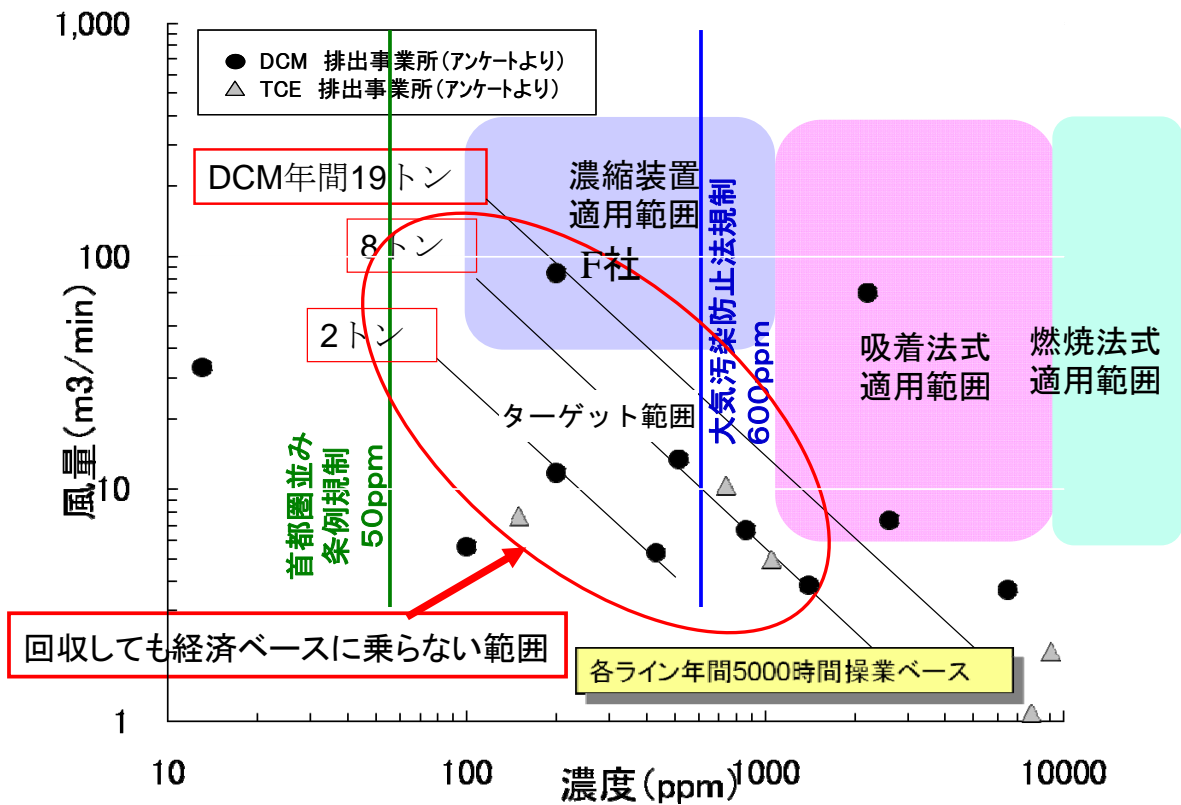


図 A-(7)-14 ターゲットとする市場

4. 結言

4. 1. まとめ

1) 分解固定化剤

適用プロセスの利便性から分解固定化剤原料を高比表面積水酸化カルシウムが最適と判断し、それから製造した高比表面積酸化カルシウムで活性試験を実施したところ、良好な性能が得られた。工業用水酸化カルシウムを原料とした高比表面積酸化カルシウムの製造（約¥20/kg）が可能となり、目標値（50¥/kg以下）を達成できた。

2) プロセスの開発

F社向け実装置の試設計を通して、その規模では既存技術（直接燃焼法、吸着法）に対して十分に競争力のあるプロセスを完成できた。

3) 実用化見通し

F社での実証試験を通して、本装置が実際の工場操業に対して安定した性能を発揮し、実装置として充分対応可能なことが実証された。

4. 2. 今後の事業化計画（マーケットの見通し）

本含塩素分解固定化法は既存技術の吸着法あるいは直接燃焼法の市場と競合しないユーザー層に適用可能であると判断しており、今後更に規制強化（50 ppm）で新たに需要が生じることが期待できる。設備建設市場は最小でDCM排出量3,700 トン/年から最大で11,600トン/年が見込まれ、DCM20トン/年排出規模での建設費は5,000万円であるので、最小で92億円（185基）から最大で290億円（580基）規模の市場が期待される。しかし、現状は市場規模が小さく、商品化を具体的に進める環境に無い。

4. 3. 今後の展開

あくまで需要次第ではあるが、以下のように本装置の拡販を進めてきたい。

初期参入ターゲットとする市場としては、含塩素系VOCのなかで排出量が最も多く、安価で高洗浄性能をもち、発癌性他毒性が比較的軽微なことから今後も使用の継続が予想されるDCMで、さらに、現在回収装置が設置されていない排出濃度が1,000ppm以下で、DCM排出量年間8～30トンの小規模事業所に絞る。

次の事業展開としてはDCM単体処理ではなく、回収メリットの出にくいDCMと他の含塩素VOC（TCE等）との混合物処理にも参入し、合成反応用途（化学工業や医薬品、プラスチック製品、ゴム製品等の製造業）を市場として事業化してゆく計画である。

4. 4. 研究の成果

1) 研究発表・講演

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2007. 9. 17	第100回触媒討論会	炭素含有酸化カルシウムを用いた有機塩素化合物の分解固定化反応	小島 綾一
2008. 2. 27	第3回エコケミカルシンポジウム	含塩素VOC高効率分解固定化装置の開発	小島 綾一
2008. 3. 17	化学工学会 第73年会	金属担持CaO触媒を用いた有機塩素化合物の分解固定化反応	岡田 正弘
2008. 9. 24	化学工学会 第40回秋季大会	高比表面積水酸化カルシウムを用いたTCE分解固定化反応	浅間 亮太

2) 発表論文

なし

3) 特許等

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2007年 2月20日	特願 2007-039461	含ハロゲン有機化合物の分解固定化反応器、固定化反応装置及びその方法	加藤守孝 他 11名
2009年 3月19日	特願 2009-068619	含塩素揮発性有機化合物の無害化方法	JFE エンジニアリング株式会社

4) その他の公表（プレス発表等）

なし

2-B-(1) 非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発

プロジェクトリーダー： 独立行政法人産業技術総合研究所
環境化学技術研究部門
部門長 島田 広道

実施企業：昭和電工株式会社 独立行政法人産業技術総合研究所

1. 研究概要

1-1. 研究目的

電気・通信分野で広く使われている材料としてエポキシ樹脂が知られているが、これらはほとんどがフェノール系化合物を原料としており、本プロジェクトの削減対象物質であるビスフェノール-A、フェノールやホルムアルデヒドを原料として使用されている。このようなフェノール系エポキシ樹脂は PRTR 法第一種化合物であるエピクロロヒドリンとフェノール化合物とを反応させてグリシジルエーテル化することにより製造されている。この方法では大量の含ハロゲン化合物が廃棄物として生成するために環境負荷が高い上に、製造工程の煩雑さ、副生ハロゲン化合物残留による電気絶縁性の低下、分子設計上の制約等の問題があり、他の方法への転換が強く望まれている。更に最先端のエレクトロニクス分野では、吸水率、誘電率等の性能面の向上も求められている。

新材料が市場に認知され広く使用されるようになるケースとしては、法規制により従来材料が使用できなくなる場合は別として、従来材料では特性が不十分で改良が求められている分野に、性能面で優位性のある材料で代替して行くことが重要となる。そのために、環境適合材料といえども、材料の持っている特性が高いことが必要である。

そこで、本研究では開発した技術が、早期に市場開発に繋げることが出来るようにするため、単に有害化学物質のフェノール、ビスフェノール-A の代替物質を開発するのではなく、高付加価値分野の最先端のエレクトロニクス分野でも高性能を付与できる素材を、有害物質を使用せずに開発することにより市場参入を実現し、更に電子材料や無溶剤型エポキシ UV 硬化型インキに展開することを目的とした。

まず、本研究では前記目的を達成するために、脂環式の二官能性エポキシモノマーA を安価で腐食性がなく、水以外の副生物が少ないエポキシ化剤である過酸化水素水溶液を用いて、合成する。更にそのエポキシモノマーA を他のモノマーB と共重合させることにより、非フェノール系のエポキシ樹脂 C の製造法を開発する。このようにエポキシ化合物の分子量を大きくすることにより、急性毒性や皮膚感作性等の毒性を低下させることも期待できる。

一方、このエポキシ樹脂を硬化させるための硬化剤 D も、既存のエポシアクリレートへの酸無水物付加体ではなく、フェノール系以外の化合物を開発し、両者を組み合わせることにより高性能なソルダーレジストの開発を目指す。

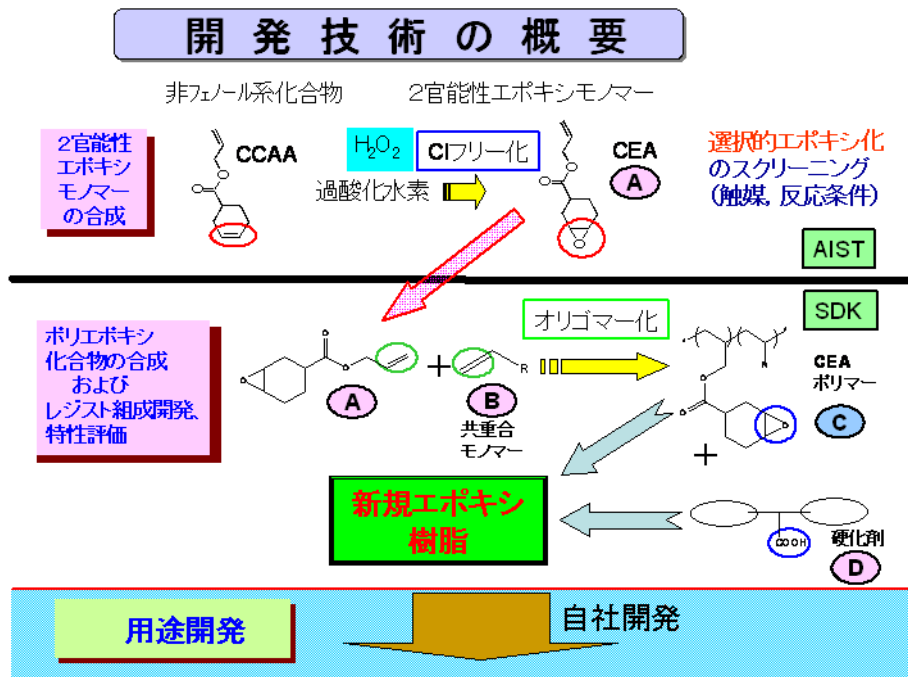


図. B-(1)-1 開発技術の概要

1-2. 研究背景ならびに研究課題

二官能性エポキシモノマー研究の最大の技術課題はジオレフィン類の2種類の二重結合部位を選択的にエポキシ化させる技術の確立である。通常は両方の二重結合部位がエポキシ化されたジエポキシド化合物が同時に生成するため、ジオレフィン類の1つの二重結合の片方だけを選択的にエポキシ化させる技術は低生産性（低反応性、低選択性）であったり、ある種の構造体に適応が制限されたりする場合が多い。エポキシ化剤として過酸（過酢酸、メタクロロ過安息香酸(m-CPBA)）が良く用いられているが、基質選択性が低い上に、酸化剤由来の酸が当量生成するため、酸性に弱い基質には適用できず、装置の腐食などの問題がある。またケトン触媒下にオキソンを酸化剤としたジオレフィン類の選択的エポキシ化方法も知られているが、この反応ではオキソン由来の副生物が生じることはもちろん、触媒のケトンが多量に必要（ジオレフィン類に対し20-30モル%）である。一方、過酸化水素水溶液は、安価で腐食性がなく、反応後に水以外の副生物がないために環境負荷が小さく、優れた酸化剤であるが、酸化力が弱いため、活性を高めるための技術（触媒設計）が必要である。過酸化水素水溶液を酸化剤とするジオレフィン類の選択的モノエポキシ化に関してはわずかに報告例があるが、反応収率が悪く、塩化メチレン等のハロゲン系炭化水素溶媒を必要とするため環境負荷が大きい。

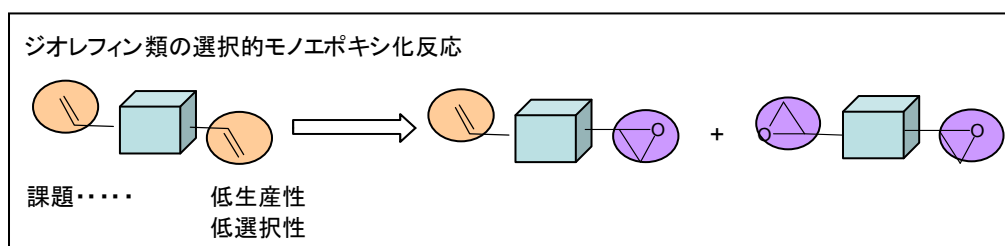


図. B-(1)-2 ジオレフィン類の選択的モノエポキシ化

従って温和な条件下、有機溶媒を使用せずに簡便な操作で安全にジオレフィン類から選択的に二官能性エポキシモノマーを収率良く、かつ低コストで製造する方法の開発が強く要望されており、工業的に実用するには以下の反応成績が必要である。

基質（原料）転化率 50%

モノエポキシ化選択率 90%

過酸化水素効率 80%以上、の達成

次にポリエポキシ化合物の合成、及び樹脂組成物検討の最大の開発課題は、市場に受け入れられる特性を持った組成物の確立である。このためには、ポリエポキシ化合物に加えて組み合わせる硬化剤の開発も重要である。

現在、エレクトロニクス分野の中のソルダーレジストとして、フェノール系エポキシ樹脂に対して市場から求められている課題としては、以下の項目が挙げられる。

- a. 低応力化（耐ハンダクラック, 反り）：低硬化収縮率, 低線膨張率, 応力緩和
- b. 耐湿信頼性（イオンマイグレーション防止）：低吸水性, 低不純物イオン
- c. 高周波特性（高速・高周波対応；伝送速度向上, 消費電力低減）：低誘電率

硬化剤を従来と同じエポキシアクリレートへの酸無水物付加体を用いたのでは、半分以上は、従来通りフェノール系のエポキシ樹脂ベースの硬化剤を用いることになる。エポキシアクリレートへの酸無水物付加体を用いている理由としては、写真現像法でパターンニングを行っているためである（感光性とアルカリ現像性を付与するため）。写真現像法はパターンニングに関しては優れた方法ではあるが、環境面を考えると使用する熱硬化性樹脂のかなりの部分が強アルカリ性廃液になるので、好ましい方法ではない。従って、柔軟性と絶縁特性の両立が可能で、かつ図. B-(1)-3 に示すような印刷法でパターンニングできる材料であることが好ましい。

そこで、本開発では材料面のリスク削減と併せて、工程面でも合理化を達成するために印刷法でパターンニング出来る材料を開発することにした。そのため印刷法を意識して、3, 4- エポキシシクロヘキサン-1- カルボン酸アリル (CEA) をベースとするポリエポキシ化合物の検討を行うとともに、このポリエポキシ化合物との組合せに適した硬化剤の開発が必要となる。

ソルダーレジストの最先端市場に参入するために、ポリエポキシ化合物と、新しい硬化剤を組み合わせ、以下の物性を達成することを目標とした。

絶縁性能：HHBT 試験 1000hr 試験後 $10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上

反り（柔軟性） -10mm 以下

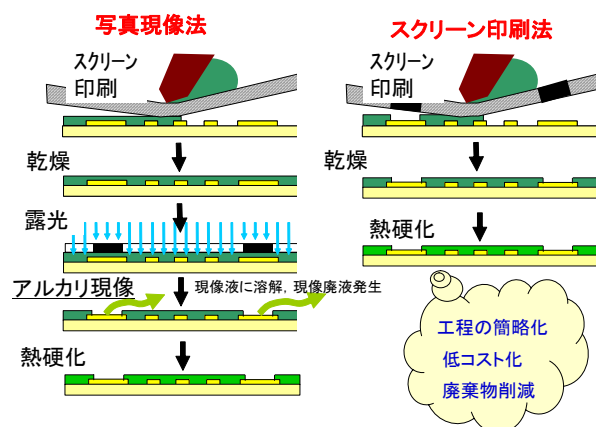


図. B-(1)-3 写真現像法からスクリーン印刷法へ

ハンダ耐熱性：260℃×10sec, 2回以上

耐メッキ性：耐無電解金メッキ耐性

これを実現させるために、以下の研究スケジュールを立てて、この開発を進めていった。

表. B-(1)-1 研究スケジュール

研究開発項目	16年度	17年度	18年度
1. 非フェノール系エポキシモノマーの合成 1-1 CEAへの選択エポキシ化反応	基礎検討	スケールアップ	工業化
	1-2 実用化触媒検討 助触媒のコストダウン 1-3 種々の2官能性エポキシモノマー の選択エポキシ化	AMPA、相間移動触媒	技術確立 コストダウン
2. 新規エポキシ樹脂の開発 2-1 共重合モノマーの最適化 2-2 硬化剤の開発		共重合、単独重合品の最適化	
		ポリカーボネートジオール成分の最適化	
3. 電気・電子分野への用途展開 3-1 従来型レジスト材料との性能比較 3-2 実用化技術開発	既存樹脂の物性評価		
	絶縁特性、耐熱性改良	柔軟性改良	
		ユーザーの要求に沿った特性改良	

2. 研究方法ならびに研究計画

2-1. 研究方法

【産総研】

過酸化水素水溶液を用いた直接酸化法によりエポキシ化を行うためには、触媒の活性化は必須として、本研究のように2種類のオレフィン部分を有する基質の片方のみを選択的にエポキシ化し、かつエポキシ化反応の高効率・高選択率を実現する為には、使用する触媒を厳密にコントロールする必要が生じる。つまり選択的エポキシ化反応の最適条件の探索が本研究における最重要テーマとなる。過酸化水素水溶液を用いたエポキシ化反応は2相系（水相-有機相）の反応のため、エポキシ化反応を左右する因子として以下の反応条件が挙げられる。

1. 触媒（組成）の選択ならびに使用量、
2. 過酸化水素水溶液の濃度および使用量、
3. 反応温度、
4. 反応時間、
5. 攪拌速度、
6. 溶媒の使用量（原料の希釈割合）

なおこれまでの過酸化水素水溶液を用いたエポキシ化反応の研究から、[1. 触媒]は単一化合物ではなく以下の役割を担う混合触媒が最適であると予想される。

- 1.1 過酸化水素水溶液の酸化剤としての能力を向上させる金属化合物（金属触媒）
- 1.2 水相と有機相に偏在する物質を相間でやり取りが行えるように補助する化合物（相間移動触媒）
- 1.3 水相のpH制御やエポキシ化合物の収率向上に寄与する反応補助化合物（添加剤）

触媒組成の候補は100種類以上あり、反応温度や時間、攪拌速度などの検討もあわせると膨大な組み合わせが考えられる。最終的にはすべての因子を組み合わせで選択的エポキシ化

反応条件の最適条件を決定しなければならないため、効率良く条件を探索する必要性から平成 16 年度には小スケールにて反応検討が行える触媒スクリーニング装置を、さらに平成 17 年度には平成 16 年度購入の触媒スクリーニング装置と比較して反応処理速度が 5 倍以上の全自動触媒スクリーニング装置を購入した。それぞれのスクリーニング装置は攪拌速度も計測可能であり、攪拌速度の反応に与える影響を調査することが可能である。

上記触媒スクリーニング装置により種々の選択的モノエポキシ化反応条件の検討を行った。反応生成物の構造は、カラムクロマトグラフィーにて各成分を分離・精製した後、NMR および MS 測定にて決定した。反応条件評価は、ガスクロマトグラフィーを用いて A. 基質（原料）転化率、B. 反応選択率（本研究ではモノエポキシ化選択率）、C. 過酸化水素効率、の観点から行った。最終的に A～C の数値が最大になった際の反応条件を最適反応条件とした。

【昭和電工】

＜ソルダーレジスト材料の評価＞

ソルダーレジスト材料は基礎特性として、耐熱性、各種電気特性等が必要であり、その代表的な特性として、ガラス転移温度、初期絶縁抵抗、誘電率を指標として評価を行なった。

プリント配線板は、部品の実装工程等でハンダのリフロー工程や、ボンダーによる短時間の加熱工程を経る場合があり、ソルダーレジスト材料の耐熱性は重要な基礎特性である。平成 16 年度に熱機械分析装置（TMA）を購入し、線膨張係数の温度依存性の変化からガラス転移温度を求め、耐熱性の指標とした。

また、ソルダーレジストは絶縁材料であるため、基礎特性としては初期絶縁抵抗を測定した。初期絶縁抵抗は、絶縁抵抗計で抵抗値を求め、厚みと電極面積から体積固有抵抗を求めた。

他の電气的特性としては誘電率がプリント配線板の性能に影響する特性である。誘電率が高いと、高周波信号の遅延等の問題が発生するため、特に高周波向けの用途において重要視される。誘電率は、厚み 1mm 程度のディスク状のサンプルを作成し、平成 16 年度に購入した RF インピーダンスアナライザおよび誘電率測定テストフィクスチャーにより、1MHz～1GHz の誘電率を測定した。

実用物性の評価としては、ソルダーレジストはプリント配線板の絶縁・保護材料であるため初期絶縁性能だけでなく、長期信頼性も重要視される。その中でも最も重視されるのが HHBT 試験（High Temperature High Humidity Bias Test）である。この評価は高温高湿（例えば温度 85℃、湿度 85%Rh）下において電圧をかけたプリント配線板の絶縁性能を長時間にわたり測定する。このような条件下においては、プリント配線板の陰極側の銅配線から樹状（デンドライド）の銅の析出が次第に発生し、陽極まで達すると回路の短絡を発生させてしまう。市場でもこのような現象に起因する故障が数多く発生しており、電気・電子機器の信頼性向上のためには最も重要な実用特性である。

デンドライドによる短絡が起こると、その際のジュール熱によりデンドライドが融解し、再び絶縁性が回復する場合がある。したがって、このような不良の検出には、常時連続的に

絶縁抵抗値をモニター・記録する必要があるため、専用の測定器（イオンマイグレーションテスター）を使用している。

平成 16 年度に恒温恒湿器を、平成 17 年度にイオンマイグレーションテスターを購入し長期絶縁信頼性評価に使用している。

また、ソルダーレジストが塗布されたプリント配線板の上に電子部品が実装されることや、部品を実装するのに先立ち、無電解金メッキ等のメッキが施されることが多いことから、ハンダ耐熱性や耐無電解金メッキ性についても評価を行った。

2-2. 平成 16 年度研究計画

【産総研】

平成 16 年度は非フェノール系エポキシ樹脂原料としてエポキシ基とオレフィン部位を有する二官能性エポキシモノマー（CEA（1））を選定し、過酸化水素水溶液をエポキシ化剤としたジオレフィン（3-シクロヘキセン-1-カルボン酸アリル）の選択的モノエポキシ化による合成を計画した。

研究にあたっては、以下の年次研究目標をたてた。

平成 16 年度目標：CEA の合成に関して基質（原料）転化率 50%、モノエポキシ化
選択率 50%、過酸化水素効率 70%、の達成

CEA は既知物質であり、その合成法として過酸（過酢酸）を用いた 3-シクロヘキセン-1-カルボン酸アリルの選択的エポキシ化反応が報告されている。しかしながら酸化剤由来の酸が当量生成するため装置の腐食などの問題があり、環境負荷が高い上、副生成物であるジオールがかなり生成する。研究を開始するにあたっては、我々が開発した過酸化水素水溶液によるエポキシ化技術（触媒組成 [タングステン酸ナトリウム-硫酸水素メチルトリオクチルアンモニウム-アミノメチルホスホン酸] を用いた過酸化水素水溶液によるエポキシ化反応）を参考に、選択的モノエポキシ化の可能性を探索した。

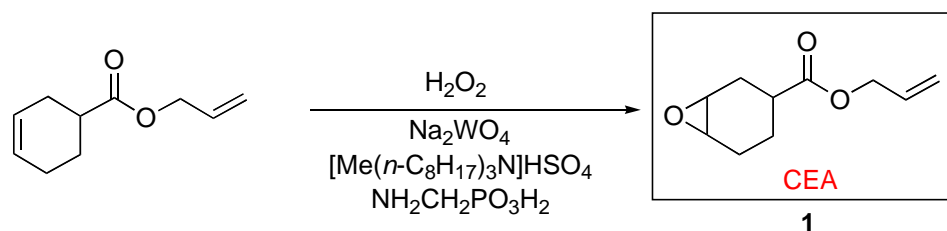


図. B-(1)-4 選択的エポキシ化による C E A 合成

【昭和電工】

平成 16 年度は既存の非フェノール系エポキシ樹脂のモデル化合物と、ビスフェノール A 型エポキシ樹脂やノボラック型エポキシ樹脂について、基礎物性（誘電率、絶縁特性、ガラス転移温度等）を比較し、非フェノール系エポキシ樹脂がレジスト材料として適切な性能を有していることを確認するための実験を行った。

レジスト材料はエポキシ樹脂のほか、主剤としてエポキシ樹脂と組み合わせて使用されるポリカルボキシル化合物から構成される。したがって、優れたレジスト特性を引き出すためにはエポキシ樹脂のみではなく、それと組み合わせるポリカルボキシル化合物の構造も重要である。

ポリカルボン酸化合物として、今後の成長が期待できるフレキシブル配線基板でも使用できることを前提として考え、右図に模式的に示したカルボキシル基含有ポリウレタン化合物を中心に検討を行なうこととした。平成16年度は、ポリカルボキシル化合物の開発を行なうとともに、既存の非フェノール系エポキシ樹脂のモデル化合物と組み合わせたレジスト材料の性能評価を行なった。

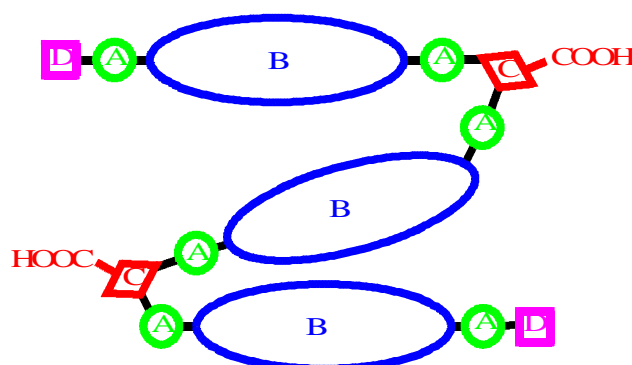


図. B-(1)-5 カルボキシル基含有ポリウレタン樹脂模式図

研究にあたっては、以下の実用物性を達成するための基礎物性値の目標値として、以下の年次研究目標をたてた。

平成16年度目標	・誘電率 (1MHz 23°C)	3.5 以下
	・絶縁抵抗	$10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上
	・ガラス転移温度	140°C 以上

3-2. 平成17年度研究計画

【産総研】

平成17年度は16年度の結果を踏まえ、触媒使用量のいっそうの削減を検討し、反応コスト、環境負荷の低減を模索すると共にスケールアップ合成 (~1 kg) を実施し、工業化する上で必要な技術的諸問題 (触媒系の微調整、試薬の添加方法、反応温度調整、精製法の確立等) の解決を計ることを目的とした。手順としては触媒量の削減検討を小スケール (4 mmol) で行った後、段階的にスケールアップ合成を行っていきながら工業化する上で必要な諸問題を解決していき、最終的に1 kg スケールの合成を行うこととした。なお1 kg スケール合成については昭和電工側にて実施する事とした。さらに平成17年度から新たに過酸化水素水溶液を用いたエポキシ化反応によるモデル化合物 (2) の合成を検討した。

研究にあたっては以下の年次研究目標をたてた。

- 平成17年度目標：(1) GEAについて1 kg スケールで触媒原単位 0.05 kg / kg 以下 (GEA に対して) の達成
- ：(2) モデル化合物 (2) の合成に関して基質転化率 50%、モノエポキシ化選択率 50%、過酸化水素効率 70%、の達成

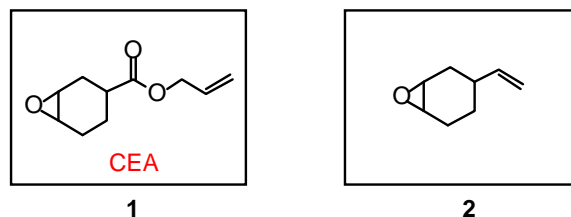


図. B-(1)-6 CEA (1) およびモデル化合物 (2)

【昭和電工】

① CEA 合成のスケールアップ

CEA のラボスケール (10g 程度) での合成条件確立に引き続き、工業レベルの量産化の前段階として、20 キログラムレベルでのスケールアップ検討を行い、CEA の外注生産を計画した。

20 キログラムスケールの反応実験により、基質転化率、モノエポキシ化選択率、過酸化水素効率等の評価を行い、課題を抽出することとした。また、現在カラムで行っている精製を、蒸留、晶析等量産化可能な技術への転換を検討した。

また、得られた CEA はプレポリマー化や、さらに他の樹脂と組み合わせてレジスト化する検討を行うため利用し、CEA ベースのレジスト開発の加速を図った。

② 非フェノール系樹脂原料のプレポリマー化

CEA やビニルシクロヘキサンのエポキシ化等、①で合成されたエポキシ化モノマーをレジスト材料にするため、最適な分子量分布を有するプレポリマーに合成できる条件を選定することを計画した。

レジスト材料を開発するためには、

- ・印刷性、機械特性向上のための高分子量化
- ・耐熱性、耐化学薬品性向上のための多官能基化

を実現する必要がある。そのため、①で合成したエポキシ基とビニル基を持った二官能性モノマーを用い、ラジカル重合によりプレポリマー (オリゴマー) を合成することとした。

これらの化合物については特に、二重結合以外にエポキシ基を有するために、ラジカル重合時にエポキシ基が開環しない工夫が必要である。

このためには、グリシジルメタクリレート (以下 GMA と略) を標準モノマーに選び、ホモポリマーのプレポリマー化の条件検討を行うことを計画した。

③ エポキシ樹脂と複合化するためのカルボキシル化合物の検討

優れたレジスト特性を引き出すためにはエポキシ樹脂のみではなく、それと組み合わせるポリカルボキシル化合物の構造も重要である。

各種レジスト特性の改良を目的とし、カルボキシル基含有ポリウレタン化合物の改良を計画した。

④ レジスト材料の開発

ソルダーレジストはプリント配線板の絶縁・保護材料であり長期信頼性が重要視されるため HHBT 試験が最も重要な評価項目である。また、ソルダーレジストが塗布されたプリント配線板の上に電子部品が実装されるため、ソルダーレジストにはハンダ耐熱性が要求される。また、部品を実装するのに先立ち、無電解金メッキ等のメッキが施されることが多く、耐無電解金メッキ性も重要な実用特性の1つである。

平成 17 年度は、前年度に開発に成功した CEA をエポキシ樹脂原料として用いたエポキシブレポリマーをカルボキシル基含有ポリウレタン化合物と組み合わせ、レジスト材料としての性能を発揮できる組成を開発するとともに、上記の実用特性を評価することを計画した。

平成 17 年度目標：(1) 非フェノール系エポキシ原料合成技術の開発

CEA 合成のスケールアップ (20kg レベル)：触媒原単位 0.05kg/kg 以下

：(2) 非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発

- ・カルボキシル基含有ウレタン化合物合成：100kg スケールアップ合成
- ・絶縁性能：HHBT 試験後 $\times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上
- ・ハンダ耐熱性：260°C \times 10sec, 1 回以上
- ・耐メッキ性：耐無電解金メッキ耐性

※HHBT 試験条件：L/S=50/50, 電圧 50V, 85°C \cdot 85%Rh, 500hr

3. 研究結果と考察

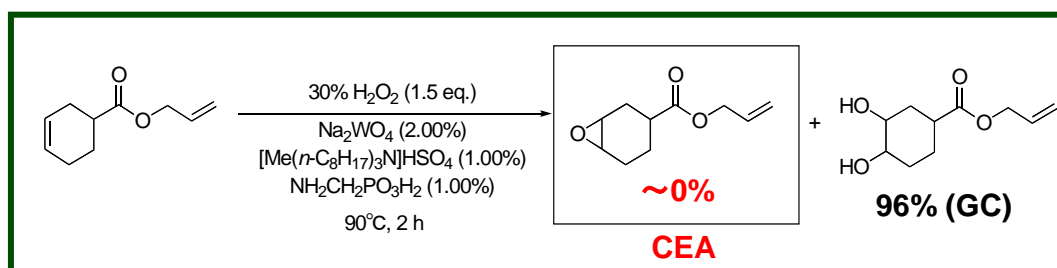
3- 1. 平成 16 年度研究概要ならびに結果

【産総研】

本研究開発を行うにあたり、これまで産総研で開発済みのオレフィンエポキシ化に高活性を示す触媒系 (タングステン酸ナトリウム 2.00%、硫酸水素メチルトリオクチルアンモニウム 1.00%、アミノメチルホスホン酸 1.00%) を用い、原料に対して 1.5 当量の 30%過酸化水素水溶液を作用させたところ、反応は速やかに進行し 1.5 時間程度で原料がほぼ消費された。しかし生成物は目的とする CEA ではなく、ジオール体である 3,4-ジヒドロキシシクロヘキサン-1-カルボン酸アリルであった。3 成分の触媒系の微妙なバランスによってエポキシ化も迅速に進行するが、同時にエポキシドの開裂反応も促進されることが反応解析から明らかとなった。

エポキシ化速度に影響を与えずエポキシドの開裂速度を低下させるべく、小スケール (~ 4 mmol) にて触媒スクリーニング装置を用いてスクリーニングを行った。表. B-(1)-2 にその結果の一部を記した。金属触媒の選択および使用量、相間移動触媒の選択および使用量、添加剤の選択、過酸化水素水溶液の濃度および使用量、反応温度、反応時間、溶媒の選択について計 74 種類反応条件をスクリーニングした結果、[タングステン酸ナトリウム 2.00%、硫酸水素メチルトリオクチルアンモニウム 0.83%、アミノメチルホスホン酸 0.67%、30%過酸化水素水溶液 1.05 当量、70°C、3 時間、無溶媒] という反応条件において選択的エポキシ化反応が進行し、目的生成物が高収率 (収率 80%) で得られた。反応系中の酸性度は過酸化水素水溶液の量や触媒の量に非常に大きく依存するため、反応条件を微少変化させるだけでも本

反応の選択率は大幅に低下した。しかし、過酸化水素水溶液の量、触媒量、濃度、反応温度、反応時間を適切に設定することで、開環反応を抑えモノエポキシ化反応を適切に制御することが可能となり、最適条件を見いだすに至った。この結果平成16年度目標に対して、基質転化率84%（平成16年度目標50%）、モノエポキシ化選択率94%（平成16年度目標50%）、過酸化水素効率90%（平成16年度目標70%）を達成した。一方で反応系中の酸性度を大幅にあげることにより選択的にジオールのみを合成できる事も可能となった。



反応終了直後のGC

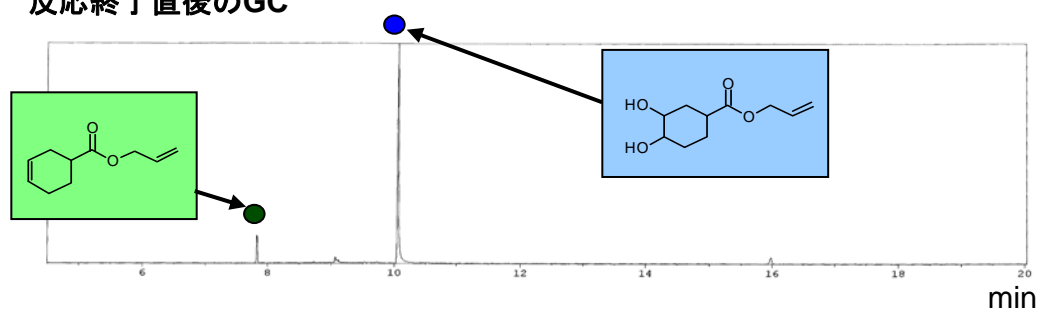


図. B-(1)-7 産総研が開発した標準的なエポキシ化条件で反応を行った結果

表. B-(1)-2 種々の触媒系でのエポキシ化反応成績

H ₂ O ₂ (eq.)	M (%)	QX (%)	NH ₂ CH ₂ PO ₃ H ₂ (%)	Conditions	Conversion (%)	CEA	Yield (%) ¹⁾ diol
1.50 (30%)		1.00	1.00	90°C, 2 h	96	~ 0	96
1.50 (30%)		1.00	1.00	90°C, 0.3 h	73	46	27
1.50 (30%)		1.00	0	90°C, 2 h	95	15	80
1.50 (30%)		0.25	0	90°C, 2 h	60	60	~ 0
1.50 (30%)		0.60	0	70°C, 3 h	64	50	11
1.50 (30%)		0.60	0	70°C, 3 h	67	53	11
1.20 (36%)		0.75	0	70°C, 3.5 h	79	69	8
1.20 (36%)		0.85	0.45	70°C, 3 h	82	62	14
1.05 (35%)		0.85	0	70°C, 2.5 h	51	46	5
1.05 (60%)		0.85	0	70°C, 3 h	69	60	9
1.05 (36%)		0.85	0.45	70°C, 3 h	72	71	~ 0
1.05 (36%)		0.77	0.60	70°C, 3 h	79	69	8
1.05 (36%)		0.72	0.68	70°C, 3 h	67	63	3
1.05 (36%)	Na ₂ WO ₄	0.50	1.00	70°C, 3 h	76	67	9
1.05 (36%)	2.00	1.00	0.50	70°C, 3 h	84	76	7
1.05 (36%)		0.75	0.75	70°C, 3 h	83	76	6
1.05 (30%)		0.83	0.67	70°C, 3 h	84	80	3
1.05 (36%)		0.83	0.67 (H ₃ PO ₄)	70°C, 3 h	53	53	~ 0
1.05 (36%)		1.00	0.58	70°C, 3 h	84	78	5
1.05 (36%)		1.00	1.00	70°C, 3 h	87	73	14
1.05 (36%)		0.83	0.67	70°C, 3 h +1.5% NaCl	70	66	3
1.05 (36%)		0.83	0.67	70°C, 3 h +5.5% NaCl	40	40	~ 0
1.50 (30%)		0.60	0	90°C, 4 h	28	28	~ 0
1.05 (30%)		7.80	0	70°C, 2 h	trace	trace	~ 0
1.50 (36%)		1.00	0	70°C, 2.5 h	trace	trace	~ 0
1.50 (30%)		1.00	1.00	70°C, 3 h	trace	trace	~ 0
1.05 (36%)		0.83	0.67	70°C, 3 h	39	39	~ 0
1.05 (36%)		0.83	0.67	70°C, 3 h	trace	trace	~ 0
1.05 (36%)		0.83	0.67	70°C, 3 h	34	34	~ 0
1.05 (36%)		0.60	0	80°C, 4 h	58	42	12
1.05 (36%)	Na ₂ MoO ₄ 2.00	1.00	1.00	80°C, 3 h	31	26	2
1.05 (36%)	Na ₂ MoO ₄ 2.00	1.00	0.67	70°C, 3 h → 90°C, 1 h	9	9	trace
1.05 (36%)	MoO ₃ 2.00	1.00	1.00	70°C, 1 h, CH ₃ CN	72	trace	71
1.05 (30%)	MoO ₃ 2.00	1.00	0.67	70°C, 2.5 h, CH ₃ CN	69	8	60
1.05 (36%)	H ₂ Mo ₂ O ₇ P 2.00	0.65	0	70°C, 2.5 h	89	trace	87
1.05 (36%)	H ₂ WO ₄ 2.00	0.83	0.67	70°C, 3 h	91	trace	91

1) Determined by GC.

【昭和電工】

フェノール骨格を有しないエポキシ樹脂を用いることにより、性能低下が予想されるので、組み合わせるポリカルボン酸樹脂の最適化を行った。

基本樹脂系の選択としては、ポリカルボン酸樹脂のうち、カルボキシル基含有ポリウレタンを選択し、各種構造・分子量・酸価等の最適化を行った。

ポリマーポリオールとしては直鎖のポリカーボネートジオールベースウレタンが優れた低反りを示した。

一方、ハンダ耐熱性は両末端 OH 基変性ポリブタジエンベースウレタンが良好であった。

当面の目標用途である、最先端のエレクトロニクス分野での想定用途では、低反り性が非常に重要視されることと、両末端 OH 基変性ポリブタジエン系では、基材との密着性に懸念があることから、直鎖ポリカーボネートジオールで非フェノール系エポキシ樹脂のモデル化合物と組み合わせるレジスト化合物の基礎物性を評価した。

その結果、誘電率は 3.0（平成 16 年度目標 3.5 以下）、絶縁抵抗 2×10^{14} （平成 16 年度目標 10^{14} 以上）、ガラス転移温度 166°C（平成 16 年度目標 140°C 以上）を達成した。

非フェノール系エポキシは従来レジスト材料向けエポキシとして多用されているビスフェノール A エポキシ樹脂と比較し、遜色ない特性を有していることが確認できた。

3-3. 平成 17 年度研究概要ならびに結果

【産総研】

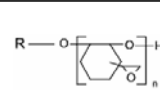
触媒量の削減検討は、前述の触媒スクリーニング装置を用いて行った。昨年度の結果から、触媒の種類をタングステン酸ナトリウムに固定し、使用量、触媒比、反応時間、反応温度を変化させながら最適な反応条件を模索した。結果を表. B-(1)-5 に示す。計 25 種類の反応条

表. B-(1)-3 ポリマーポリオールの違いが物性に与える影響

ポリマーポリオール種類	品名	反り (mm)	可撓性 (回)	耐ハンダ (回)
ポリカーボネートジオール	C-1090 (直鎖:柔軟)	-11.5	>10	0
	UC-CARB100 (脂環式:剛直)	+16	>10	0
両末端OH基変性ポリブタジエン	G-1000 (直鎖:柔軟・疎水性)	-5.5	>10	1
ポリエーテルポリオール	PTMG1000	-6.5	>10	0

ジイソシアネート:デスマジュールW, カルボン酸:DMBA, 分子量:1000

表. B-(1)-4 平成 16 年度の到達レベル

	ガラス転移温度: 166°C 誘電率: 3.0 絶縁抵抗: $6 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$
	ガラス転移温度: 143°C 誘電率: 3.1 絶縁抵抗: $2 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$
平成16年度中間目標	ガラス転移温度: 140°C 誘電率: 3.5以下 絶縁抵抗: $10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上

件を触媒スクリーニング装置にて実施した結果、反応条件[タングステン酸ナトリウム 1.03%、硫酸メチルトリオクチルアンモニウム 0.43%、アミノメチルホスホン酸 0.33%、30%過酸化水素 1.05 当量、70°C、5 時間、無溶媒]にて収率 64%で GEA が得られる事が判明した。その際の触媒原単位は 0.049 kg / kg であった。この条件をもとにスケールアップ合成の検討を行った。スケールを上げていく過程で反応熱の制御が問題となったため、過酸化水素水溶液の添加方法の変更ならびに温度コントロールの改良を行った。最終的に 100 g スケールにて反応条件[タングステン酸ナトリウム 1.03%、硫酸メチルトリオクチルアンモニウム 0.43%、アミノメチルホスホン酸 0.33%、30%過酸化水素水溶液 1.05 当量、55°C、1.5 時間→70°C、3 時間、無溶媒]にて収率 66%で GEA を得た。その結果、平成 16 年度の反応目標以上の基質転化率 82% (平成 16 年度目標値 50%)、モノエポキシ化選択率 80% (平成 16 年度目標値 50%)、過酸化水素効率 77%(平成 16 年度目標値 70%)、を達成した上で、平成 17 年度目標の触媒原単位 0.0479 kg / kg (目標値 0.05 kg / kg、GEA) を達成した。

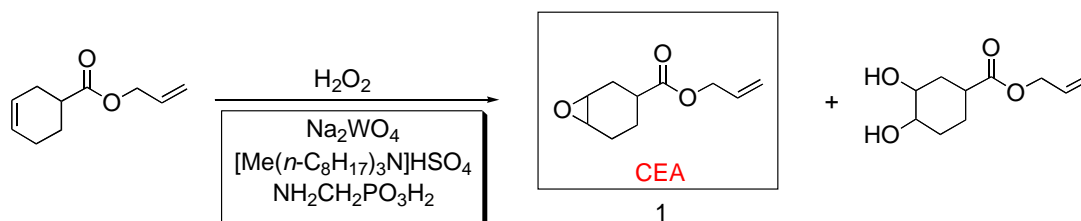


図. B-(1)-8 タングステン触媒系による GEA へのエポキシ化反応

この検討の終了段階(平成 17 年秋)で GEA 生産の早期スケールアップにより十分な量を確保し、GEA を用いたレジスト製造を他に先行して確立する事を目的に加速予算が計上された。それにより当初の計画目標が変更となり以下の年次目標となった。

平成 17 年度目標 (加速予算による目標修正) :

- (1) GEA について 20 kg スケールで触媒原単位 0.05 kg / kg 以下 (GEA に対して) の達成

スケールアップ合成を行っている過程で反応熱の制御等の問題点が解決した事から反応の詳細を昭和電工(株)に提供し、最終的に委託合成により 20 kg スケールのエポキシ化反応が行われた。

表. B-(1)-5 触媒の使用モル比の違いが反応成績に与える影響

H ₂ O ₂ (eq.)	Na ₂ WO ₄ (%)	[Me(n-C ₈ H ₁₇) ₃ N]HSO ₄ (%)	NH ₂ CH ₂ PO ₃ H ₂ (%)	Conditions	Conversion (%)	CEA	Yield (%) ¹⁾ diol
1.05	2.00	0.83	0.67	70°C, 3 h	84	80	3
	1.61	0.75	0.67	65°C, 4 h	66	66	~ 0
	1.46	0.86	0.63	65°C, 3.5 h	89	79	10
	1.46	0.75	0.67	65°C, 3.5 h	88	80	6
	1.43	0.70	0.45	70°C, 3 h	87	77	10
	1.38	0.83	0.67	65°C, 4 h	85	66	16
	1.38	0.75	0.67	65°C, 4 h	70	55	13
	1.38	0.65	0.40	70°C, 3 h	80	74	6
	1.30	0.83	0.63	65°C, 4 h	79	69	~ 0
	1.30	0.83	0.63	65°C, 4 h	81	73	7
	1.30	0.60	0.67	65°C, 4 h	56	56	8
	1.23	0.75	0.63	65°C, 4 h	69	60	9
	1.23	0.68	0.40	70°C, 3 h	86	77	9
	1.15	0.60	0.45	65°C, 5 h	80	54	25
	1.10	0.60	0.40	65°C, 5 h	74	60	15
	1.08	0.99	0.67	65°C, 4 h	87	61	20
	1.08	0.75	0.67	65°C, 4 h	86	68	13
	1.03	0.50	0.33	70°C, 5 h	73	53	18
	1.03	0.43	0.33	70°C, 5 h	77	64	11
	1.00	0.87	0.67	65°C, 4.5 h	85	59	24
1.00	0.60	0.67	65°C, 4.5 h	78	60	16	
1.00	0.60	0.48	65°C, 4.5 h	79	61	15	
1.00	0.60	0	65°C, 4.5 h	65	55	10	
0.80	0.52	0.32	65°C, 6 h	68	46	21	
1.05	1.03	0.43	0.33	55°C, 1.5 h-70°C, 3 h (100 gスケール)	82	66	8

1) Determined by GC.

一方エポキシ基とビニル基を有するモデル化合物 (2) については、触媒スクリーニング装置により最適な活性、選択性を示す複合酸化物触媒、遷移金属触媒の探索を行い、最適反応条件を見出すことを目的とした。なお反応進行の指標となる基質 (原料) 転化率、反応の選択率 (モノエポキシ化選択率)、収率等の反応評価はガスクロマトグラフィーを用いて実施したほか、カラムクロマトグラフィーにて精製を行った後、単離収率を求めた。平成 16 年度に行った CEA についての検討結果を参考に計 15 種類の反応条件を触媒スクリーニング装置にて実施した結果、反応条件 [タングステン酸ナトリウム 2.00%、硫酸メチルトリオクチルアンモニウム 0.68%、アミノメチルホスホン酸 0.97%、30%過酸化水素水溶液 1.05 当量、65°C、3.5 時間、無溶媒] が化合物 (2) の合成に最適である事が分った。同時に化合物 (2) は CEA 以上に酸性条件下で容易に加水分解が進行しアルコール体に変化する事が明らかとなり、これが (2) の選択率を大きく減少させる要因であることが判明した。そこで、過酸化水素水溶液の量、触媒量、濃度、反応温度、反応時間を適切に設定することで、加水分解を適切に制御する事が可能となり、平成 17 年度目標に対して、基質転化率 75% (平成 17 年度目標 50%)、モノエポキシ化選択率 91% (平成 17 年度目標 50%)、過酸化水素効率 87% (平成 17 年度目標 70%) を達成した。

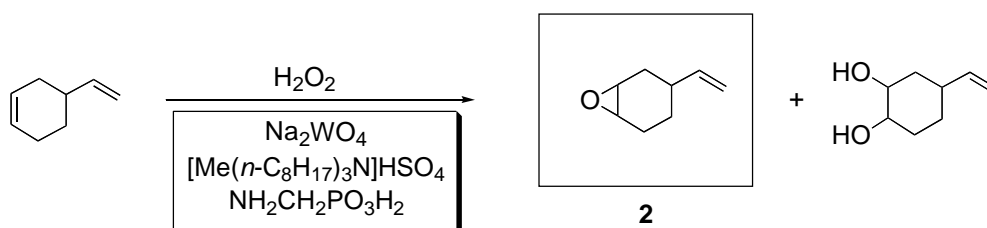


図. B-(1)-9 モデル化合物 (2) へのエポキシ化反応

【昭和電工】

① CEA 合成のスケールアップ

産総研でのスケールアップ検討を踏まえ、更に量産化条件の最適化を行い、大量合成を外部委託生産で実施した。

過酸化水素水の添加方法や温度制御等の反応条件の最適化によるジオール生成抑制により 90%近いモノエポキシ化選択率を達成した。

また、精密分留による精製を実施し、回収率 80%以上を達成した。

なお、触媒の AMPA (アミノメチルホスホン酸) は試薬として非常に高価であり、安価な市販品もないことから、AMPA は外部委託合成で製造し、上記の CEA 量産に使用した。

② CEA の概略コスト試算

上記大量生産により、CEA の概略コストを試算することができた。表. B-(1)-7 に触媒コストを示すが、助触媒の AMPA (アミノメチルホスホン酸) や相間移動触媒の調製費用が高価であり、コストのかなりの部分を占めることが明らかになった。

今後、実用化するためには、AMPA の価格や使用量削減、相間移動触媒の調製費用削減により、触媒コストの低減を行うことが重要である。

表. B-(1)-6 大量合成 (委託) 結果

	反応時			収率	収量 (kg)
	基質転化率	モノエポキシ化選択率	過酸化水素効率		
アリルエステル蒸留後				94.0%	45.8
エポキシ化反応後	78.8%	89.8%	62.4%	70.8%	33.5 ¹⁾
エポキシ化蒸留後				75% ²⁾	25.1

表. B-(1)-7 CEA の概略触媒コスト試算

原料	現状			企業化時目標コスト 5t/y			将来目標コスト 1000t/y				
	原単位	単価	コスト	原単位	単価	コスト	原単位	単価	コスト		
	kg/kg	¥/kg	¥/kg	kg/kg	¥/kg	¥/kg	kg/kg	¥/kg	¥/kg		
触媒	P-トルエンスルホン酸一水和物	0.118	400	47	/	0	/	/	目標 50		
	MTOAC	0.039	4,000	156		50					
	硫酸	0.904	20	18		0					
	AMPA	0.008	400,000	3,118		0.002				100,000	200
	タングステン酸ナトリウム	0.069	3,000	208		100					
計		計	3,547		計	350			50		

最新のデータでは、ラボスケールで 740¥/kg までコストダウンが達成できた。今後目標の 350¥/kg までのコストダウンと、実用化スケールでの実証実験を行っていく。

③ 非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発

<非フェノール系樹脂原料のプレポリマー化>

CEA と安息香酸アリルの共重合ポリマーを合成した。各種開始剤・反応条件・溶媒等を検討することにより、モノマー転化率 90%以上、重合度 Mn1000 以上を達成した。さらに、共重合成分を変更し (アクリル酸フェノキシエチル, シクロヘキシルプロピオン酸アリル, n-

ヘキサン酸ビニル，安息香酸ビニル）共重合ポリマーを合成することができた。

<エポキシ樹脂と複合化するためのカルボキシル化合物の検討>

フェノール骨格を有しないエポキシ樹脂を用いることにより、性能低下が予想されるので、硬化剤としてのポリカルボン酸樹脂の最適化を行った。16年度の成果から基本樹脂系として、カルボキシル基含有ポリウレタンの中からポリカーボネートジオールベースのものを主体として、原料ジオール骨格構造・分子量・酸価等を最適化した。ポリカーボネートジオールの原料を炭素数6のジオールから炭素数9に変更することで低反りと高絶縁信頼性を両立させることができた。

ポリカーボネートジオール以外のポリマーポリオールとしては、両末端OH基変性ポリブタジエンが柔軟であるにも拘わらず、耐メッキ性が非常に良好であった。

表. B-(1)-8 CEA を用いたプレポリマー化の検討

共重合モノマー種類	割合	反り (mm)	耐メッキ	可撓性 (回)	耐ハンダ	絶縁性
安息香酸アリル	1:1	-4.5	○	>10	3	○
CH ₂ ピドン酸アリル	1:1	-5.6	○	>10		○
ヘキサン酸ビニル	1:1	-4.8	○	>10		○
ビスフェノール系エポキシ		-5.6	○	>10	1	○
ノボラックフェノール系エポキシ		4.0	△	>10	3	◎

表. B-(1)-9 カルボキシル化合物の検討

ポリマー種類	ポリオール品名	反り (mm)	メッキ	可撓性 (回)	耐ハンダ	絶縁性
ポリカーボネートジオール	(C9:柔軟) C-1015N	-12.0	○	>10	○	◎
	(C6:柔軟) C-1090	-11.5	○	>10	○	○
	(脂環式:剛直) UC-CARB100	+16	◎	>10	○	◎
両末端OH基変性ポリブタジエン	(柔軟・疎水性) G-1000	-5.5	◎	>10	◎	△

エポキシアクリレート代替によるビスフェノールA使用量削減

エポキシ:ビスフェノールA(EP834)
ジイソシアネート:デスマジュールW, カルボン酸:DMBA, 分子量:1000

<レジスト材料の開発>

上述の非フェノール系樹脂原料を用いたエポキシプレポリマー、カルボキシル基含有ウレタン化合物を使用し、各種副資材・添加剤と組み合わせたレジスト材料を開発した。

従来のソルダーレジスト材料はビスフェノール A 型エポキシ樹脂を使用しているのに加え、主剤にエポキシアクリレート樹脂を使用している。エポキシアクリレート樹脂もビスフェノール

表. B-(1)-10 CEA, PCU を用いたレジスト材料の開発

エポキシ	硬化剤	絶縁性	反り	ハンダ	耐メッキ
CEA-P1	PCD1	◎	△	◎	○
CEA-P2	PCD2	◎	◎	△	△
CEA-P3	PCD3	◎	○	○	◎
ビス-A	エポアク	×	×	△	○
ノボラック	エポアク	○	××	◎	◎

開発品

従来品

ール A 型エポキシ樹脂を原料として用いるため、主剤、エポキシ樹脂ともにビスフェノール A 由来（もしくはのノボラックフェノール）の成分である。

主剤のエポキシアクリレートに代えてウレタン化合物（PCU）を用いることで、こちらの側からも有害化学物質リスク削減効果が得られる。

物性面からも、従来型レジスト材料は主剤、エポキシ樹脂ともに残留塩素を含むのに対し、本研究で開発したレジスト材料開発品は主剤、エポキシ樹脂ともに製造工程で塩素を生じない。このため、長期絶縁信頼性は、85°C, 85%Rh, 500hr 経過後でも絶縁性の低下が発生しなかった。耐メッキ、耐ハンダについては従来品と同様、実用上問題ないレベルが得られた。

レジスト材料としての絶縁性能試験

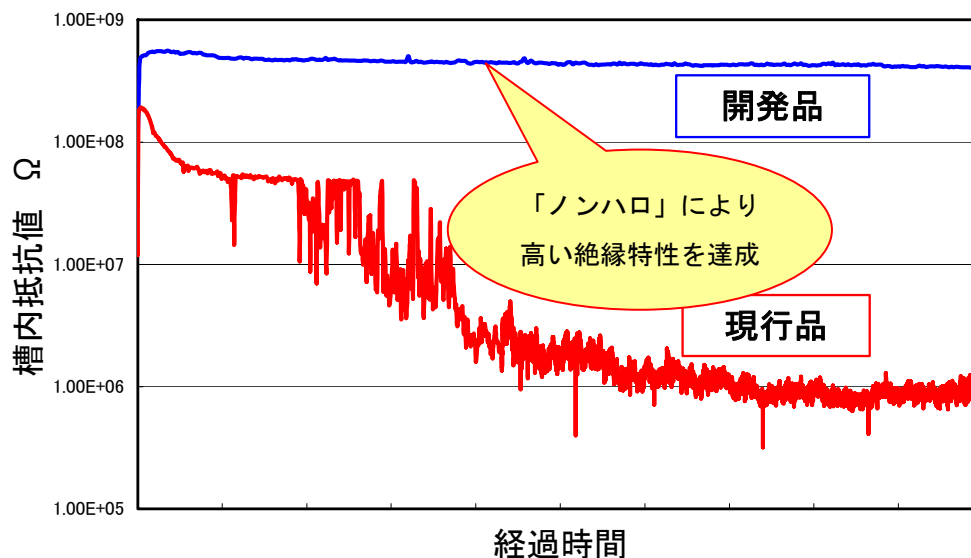


図. B-(1)-10 レジスト材料としての絶縁性能試験

4. 結言

4-1. 現状の課題・問題点ならびに今後の方針

4-1-1. エポキシ化触媒のコストダウン

CEA の過酸化水素水溶液を用いた直接酸化法によるエポキシ化技術開発については、過酸化水素効率以外については、最終目標がほぼ達成されている。ただし、触媒原単位削減の数値目標を化合物 CEA に対する重量ベースとして設定したが、コストを強く意識した数字ではなかった。つまり、触媒系の 1 つとして用いているアミノメチルホスホン酸は非常に高価であり（約 400,000 ¥/kg）、使用される触媒量は非常に少なくても（0.33%、CEA に対して）、大量製造の際のコスト増が懸念され、工業化の際のネックとなる。したがって今後の検討課題としてアミノメチルホスホン酸の使用量の削減、または代替物質の使用、さらにはアミノメチルホスホン酸の安価製造法の開発があげられる。また、専用の装置を購入することでキログラムレベルでのプロセス検討を迅速に行うことも重要である。

さらに原料合成の簡素化も重要な課題である。相間移動触媒として用いている硫酸メチルトリオクチルアンモニウムは塩化メチルトリオクチルアンモニウムと硫酸から合成している

が、使用する硫酸の量は塩化メチルトリオクチルアンモニウムに対して 200 当量以上である上、反応時間が非常に長く後処理も煩雑であり、効率が悪い。今後の検討課題として硫酸の使用量を削減した反応の検討、高温での反応による反応時間の短縮検討または代替原料の使用検討があげられる。

また工業化のためには触媒のコストダウン以外に、CCA (3-シクロヘキサン-1-カルボン酸) 原料製造法の確認や 70%過酸化水素のハンドリング、CCA、CCAA (3-シクロヘキサン-1-カルボン酸アリルエステル)、CEA の安定性確認も重要な課題である。

4-1-2. エポキシ基とビニル基を有するモデル化合物 (2) の過酸化水素水溶液を用いたエポキシ化技術の工業的製造方法の確立

17 年度までの成果を踏まえ、工業的な製造法の確立を行う。触媒使用量のいっそうの削減を検討し、反応コストの低減を模索すると共にスケールアップ合成 (〜1 kg) を実施し、工業化する上で必要な技術的諸問題 (触媒系の微調整、試薬の添加方法、反応温度調整、精製法の確立等) の解決を計ることが必要となる。

4-1-3. 種々の二官能性エポキシモノマーの開発

過酸化水素を用いた直接酸化法による選択的モノエポキシ化反応は、基質の種類 (分子量の大小、分子の極性、揮発性、酸に対する安定性等) により最適条件が大きく異なる。平成 17 年度には反応処理速度が大幅に向上した全自動触媒スクリーニング装置が導入され、本装置を利用して種々のジオレフィンの過酸化水素による選択的モノエポキシ化の検討を行う事を計画している。

4-1-4. 非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発

平成 17 年度までの研究成果で、既存製品に対して優れた電気絶縁特性と低反り性を合わせもつ系を開発することが出来た。しかし、2010 年までの技術革新のロードマップを考えた場合には、更に性能を向上させる必要がある。そのために、平成 18 年度は以下の物性を実現することを計画している。

- ① 絶縁性能・長期信頼性：HHBT 1000hr 試験後 $10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上
- ② ハンダ耐熱性：260°C × 10sec, 2 回以上
- ③ 可撓性：180° 折れ曲げ試験合格

4-1-5. 実用化技術の確立

今後、実用化を達成するためには、ユーザーでの使用プロセス適合性も含めた、多様な実用特性を満たす必要があり、様々な技術を駆使して材料の最適化を行う必要がある。例えば、レジスト膜としての特性としては基材密着性、耐溶剤性、表面硬度等の特性や、必要に応じて難燃性や耐メッキ性が必要になる。また、ユーザーでのプロセス適合性としては、レジストインキのレオロジー特性による印刷特性や溶剤の乾燥速度、乾燥後のタック、熱硬化時間短縮によるスループット向上等が問題になる場合がある。更には、品質安定性として、保存

安定性や各原料のロットのバラツキ等に問題がないことを確認する必要がある。

今後、本事業による開発として、非フェノール系エポキシベースのエポキシプレポリマーの改良やそれと組み合わせるウレタンおよび他の樹脂等の検討により、更に基本的な特性の改良を行なう。

また、実用化に直結した製品開発を昭和電工の自社開発で行い、添加剤や各種有機／無機材料との複合化、レオロジー制御等により、上記の各種実用特性を満たす材料の開発を行なう。

4-2. 今後の展開

目的でも述べたように、新材料が市場に認知され広く使用されるようになるケースとしては、従来材料では特性が不十分で改良が求められている分野に対して、優れた特徴を持つ材料を投入しないと、市場で受け入れられることは難しい。そのために、環境適合材料といえども、材料の持っている特性が高いことが望まれる。

高性能を武器に市場参入を行うことを目的に本研究を行い、平成 17 年度までに HHBT 等の絶縁性で、ノンハロゲンの特徴を生かし当初想定した以上の成果を上げることが出来た。この成果をもとに早期事業化を行うために、次のストーリーを考えている。

第 1 ステップ

開発したレジスト材料の高性能絶縁特性を武器に、エレクトロニクス分野の中で配線のファインピッチ化が要求されている特定用途へ進出する。第 1 ステップの対象であるソルダーレジスト分野でのエポキシ樹脂需要は、約 9,000t/年である。この中でファインピッチ幅の要求されている分野の需要規模は、その中の 1%程度ではあるが、販売価格は 3 万円/kg を超えており、市場規模は大きく急成長分野である。

第 2 ステップ

製造コストを削減し、絶縁特性の良さを武器に他の汎用電子材料市場に拡大する。

第 2 ステップで展開を考えている、電気・電子用エポキシ樹脂需要は、積層板用（ソルダーレジストを含む）で約 33,000t/年、半導体封止材料用で 12,000t/年である。

第 3 ステップ

第 2 ステップでの製造規模拡大により固定費を低減し、種々の二官能性モノマーベースのエポキシ樹脂を開発して、汎用一般用途での低 VOC 型エポキシ塗料市場に参入する。第 3 ステップでは、エポキシ樹脂中に含まれるフェノール化合物の削減だけでなく、溶剤中に含まれている VOC 削減の実現を目指す。

第 1 ステップでの早期の実用化を目指す観点から、まずは、PCU ベースのレジストのサンプル配布を平成 19 年中に実施することを計画しており、平成 18 年度中には特定ユーザーとの実証試験を行い、その結果をフィードバックし製品としての完成度を高めていくことを計画している。現時点では、主成分のカルボキシル基含有化合物のノンハロゲン化のみで絶縁信頼性を確保できる見込みである。

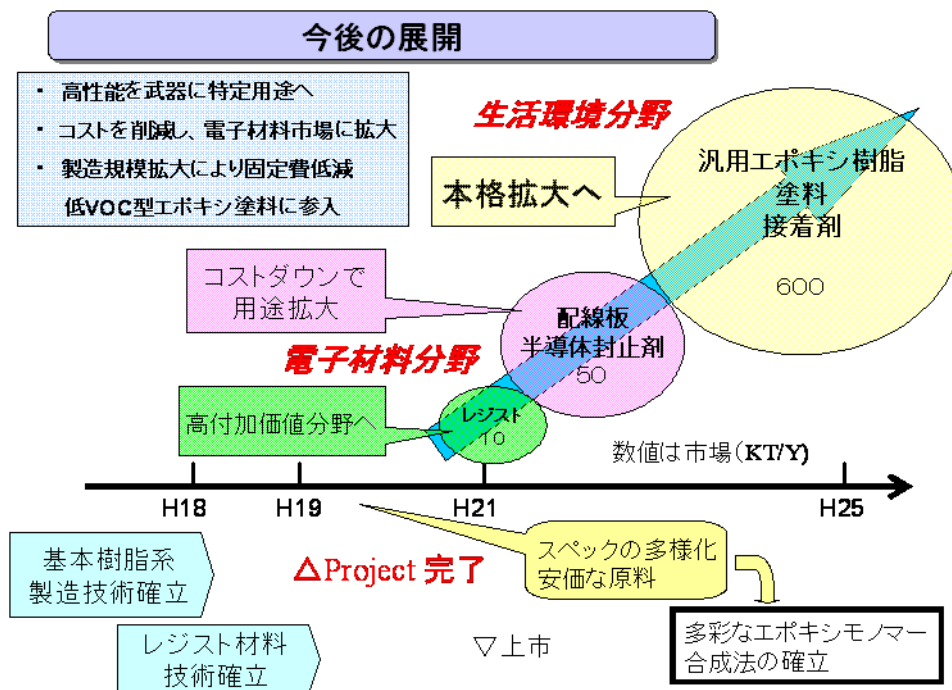


図. B-(1)-11 今後の展開

ロードマップ上は、平成 21 年度になるとピッチ幅のレベルが更に進み、エポキシ側も含めたレジスト材料を開発する必要が生じると予想される。そのために、産総研と開発しているエポキシ化合物は化審法の問題について、その時点までに必要な登録を行い平成 21 年度より企業化を開始する計画である。

図. B-(1)-12、表. B-(1)-11 に今後の事業化ストーリーとサンプル配布時の目標スペックを示す。

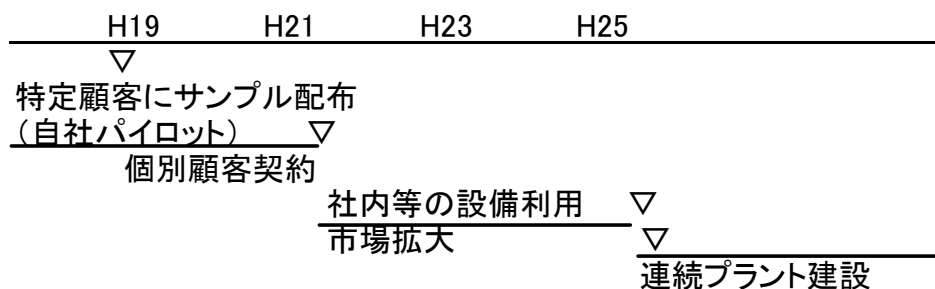


図. B-(1)-12 事業化ストーリー

表. B-(1)-11 サンプル配布時の目標スペック

項目	単位	開発品	従来品
HHBT (1000hr後抵抗値)	Ω	10 ⁸ 以上	10 ⁶ 以下
反り	cm	-10以下	5以上
ハンダ耐熱	回	2	1
耐メッキ		合格	合格

※HHBT試験条件: L/S=50 μm/50 μm, 電圧50V, 85°C・85%Rh, 1000hr

本エポキシ化触媒系は触媒の 3 成分ともに反応機構の各段階に関わっているため、触媒成分の比率を変えることによって水相、有機相間の触媒種の分配比率、反応遷移状態への影響、系全体の酸性度などが変わり、その結果エポキシ化反応性や選択性を大きく変化させることができる。この点が本プロジェクトの技術開発で得られた最も重要な基礎的知見である。本触媒系は、GEA やモデル化合物 (2) の選択合成にとどまらず、今後さまざまな種類の原料に対する選択的エポキシ化に適応できる可能性が高い。

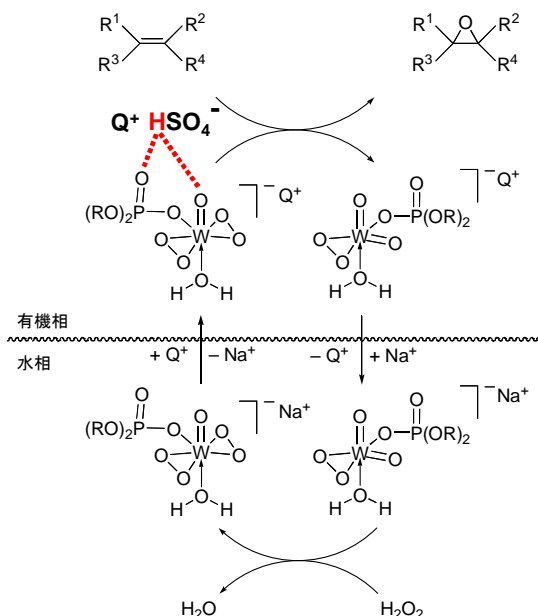


図. B-(1)-13 反応機構

4-3. リスク削減効果

4-3-1. 本プロジェクト対象の有害化学物質

第 2 ステップまでに展開を考えている、電気・電子用エポキシ樹脂のうち、対象物質の削減可能量は以下の通りである。

対象物質削減可能量 (国内総需要)

ビスフェノール A	: 約 22,000t/年	(約 280,000t/年)
ホルムアルデヒド	: 約 1,800t/年	(約 11,400,000t/年)

4-3-2. その他の波及効果

対象物質以外にも、塩素使用量の削減、写真現像法が印刷法に変わることによる、強アルカリ有機廃液の削減、高分子量化による毒性の低減や、他の用途への展開により VOC の削減を達成できる波及効果が見込まれる。

塩素使用量 27,000t/年削減

写真現像時の強アルカリ有機廃液の削減

高分子量型エポキシの使用による急性毒性、変異原性の低下

UV 硬化エポキシインキへ Max VOC として 16,000t/年の削減

以上

2-B-(2) 革新的水性塗料の開発

プロジェクトリーダー：所属 学校法人東京理科大学 山口東京理
科大学、氏名 戸嶋直樹

実施企業 日本ペイント株式会社

1. 研究概要

地球・社会の持続的な発展を期するために、産業活動より排出される有害物質の削減は急務であり、法的な整備を含め様々な取組みが行われている。平成13年4月から導入されたPRTR制度（環境汚染物質排出移動登録）や平成15年6月の化審法（化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律）の改正を受け、製造、利用、廃棄のライフサイクルに亘って化学物質を適切に管理することが社会の潮流となった。これらの化学物質は広く大量に使用され多くが環境に排出されるため、リスクが懸念される。経済産業活動と環境保全とを調和させた、安全、安心な国民生活を提供するためには、これらを自主的に回収し、無害化できる新しい技術を開発しなければならない。

揮発性有機化合物（VOC）排出に関して、2000年度の環境情報科学センターの調査によると、固定発生源総VOC排出量（150万t）のうち塗料・塗装（84万t）が56%を占めている。当業界においても重要な社会的責務と認識され、種々の低VOC製品やVOC低減システムの開発が行われてきた。大気汚染防止法改正に伴い、規制対象となる大規模な塗装施設については相当量の揮発性有機化合物（VOC）の低減が見込まれる。

しかしながら、塗装業の大多数を占める中小塗装企業から排出されるVOC量が13%に達するにも拘らず、通常のエンドオブパイプ対策だけでは効果が十分に及ばない可能性がある。十分な削減効果を挙げるためには、中小塗装企業が後処理装置の導入や水性塗料などの環境配慮型塗料へ転換することが必要であるが、高額な投資が必要であるうえ、環境配慮型塗料は使用・性能・価格において従来の溶剤型塗料に及ばない。これが原因で、特に金属製品、自動車部品、自動車補修業などの中小塗装企業における環境配慮型塗料への転換は進んでいない。

このため、インプラント技術開発として当プロジェクトでは、かかる水性塗料のデメリットを克服し、従来の溶剤型塗料の性能を保持すると共に、塗装工程におけるVOC排出を限りなくゼロにする技術を低価格で提供する実用化技術を開発することを目的とした。この革新的水性塗料およびシステムが、実質的にVOC削減に大きく貢献すると考えている。

開発目的の水性塗料は、高固形分濃度でより少ない水分量とすることで、塗装・乾燥工程にかかるエネルギー負担を低減し、高額な設備投資や生産性の低下を招くことなしに塗膜形成できると共に、より少ない親水基や親水物質の使用で安定化できることが必要である。

よって開発目標として

- 1) 塗装時のVOC排出量を5%以下とする。
- 2) 新たな投資を必要とせず、現有設備で塗装可能とする。
- 3) 現在使用している溶剤型塗料と同等の製品レベルを有する
とした。

- 1) に対する課題は、塗料構成要素の樹脂、顔料、添加剤、溶剤などの原料段階からVOCを見

直すこと、さらに塗装時の希釈溶剤も水単独として設計することである。

- 2) に対しては、水性塗料で通常使用されている焼付け前のプレヒート（前乾燥設備）が不要であること。即ち、プレヒートがなくても塗装後すぐに所定の固形分量に到達できていること（高固形分塗料）が必要である。
- 3) は、使用して頂くために必須な条件として、コスト、品質、塗装性などが、現在の品質と比較し遜色ないレベルであること。

これらを達成するためには大きく3つの要素技術開発が必要である。①完全水性化の樹脂合成技術としてエマルジョン技術と、この樹脂に相反する要求品質を満足させるため異なった樹脂を複合化させる技術を同時に成立させる複合樹脂系エマルジョン技術の開発。②通常溶剤系で実施する顔料分散を水系で実施するためには、水系での分散安定性の確保が重要な問題となり、顔料分散用ポリマーの安定化能力を十分高めておくこと。③水性塗料は、塗料中の揮発成分の大部分や希釈用の溶剤が水単独であるため、塗装環境要因、特に温度、湿度の影響を大きく受ける。冬場の低温低湿から夏場の高温多湿までの広範な環境中における造膜技術の開発が必要である。

平成17年度にスタートした各要素技術の開発では、特に、塗料を構成する基本材料である複合樹脂系ミニエマルジョンと顔料分散用グラフトポリマーの開発を中心に進め、これら基本材料から高固形分水性塗料を作成し、金属製品用途を想定した塗料・塗装の実用化検討を実施した。

平成18、19年度には、塗料を構成している複数の疎水性物質を、水中で分散安定化するために、ミニエマルジョン重合の基本設計技術とスケールアップ化技術開発までを実施した。ミニエマルジョン重合のスケールアップは連続式の高速乳化機を用い、リターン回数という指数を定義することで、大スケールでの粒子径調整が可能となり、高濃度で微粒子の複合樹脂エマルジョンの合成ができ工業化の目処を得た。

顔料分散用グラフトポリマーは、水和安定化させるグラフト鎖としてPEO（ポリエチレンオキシド）を採択し、理論的裏付けを得て、重合方法とそのスケールアップを検討し、グラフト効率がほぼ100%のグラフトポリマーを500 kgのスケールで合成ができ工業化レベルを達成した。これを顔料分散に用いた場合、良好な分散粒度と貯蔵安定性を確保できた。少ない分散剤量で安定な顔料分散体が得られ、耐水性低下の防止に有効であった。

さらに、塗装および乾燥工程でのタレやワキ（溶媒が揮発した孔）などの欠陥なく被塗物表面に塗着し、平滑な塗膜形成することが塗料として実用上重要であり、造膜過程について検討した。塗装作業性の確保には、塗料粘性制御が不可欠であり、塗膜外観には焼付け時の熔融粘度を低くすることが有効であった。さらに、加温やスプレー微粒化塗装により、高粘度水性塗料の塗装が可能となり、高塗装作業性、塗膜肌外観向上に有効であることが検証できた。この粘性制御によりワキ； 50μ 、タレ； 70μ と開発目標膜厚の 50μ を達成した。さらに、低分子量ポリオールの適用の有効性を見出し、低分子量ポリオールと基体樹脂との相溶性を考慮することにより光沢の向上ができた。塗膜品質については、水に対する抵抗性である5%硫酸浸漬性、3%食塩水浸漬性、耐湿性が溶剤型比較で不十分であるものの、室内用途向けとしての品質は確保できた。これらの開発技術を用いてVOC含有量が低濃度（5%以下）で、固形分濃度55~65 wt%の高固形分水性塗料を試作した。

大手鋼製家具メーカーでの実証試験では、低吐出量で塗膜の膜厚を $50\mu\text{m}$ 以上付着させる事が

でき、ワキ・タレとも問題なく仕上がった。また、従来品と同条件、同吐出量では1.7~2倍の膜厚を付着させる事ができ、現行水性塗料よりも工程短縮、短時間化の可能性が確認できた。塗装環境条件が制御できない小規模塗装工場での実証試験では、塗装の仕上がり、使い勝手について、塗装時間・塗装条件・ブース風速・膜厚など様々な塗装環境条件の影響が大きくバラツキが生じることが判明した。今後も実証試験を重ねて精度を高めていく必要があると同時に、どのような塗装工場でも対応可能にするため、塗装条件が微粒化や水の蒸発性に与える影響とワキ・タレの関係等、今後更なる塗装プロセスの研究を行う必要がある。

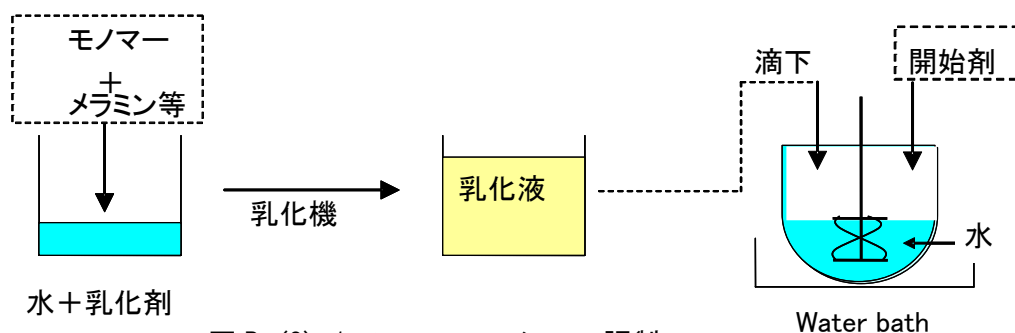
山口東京理科大学での、ポリマー樹脂における各種官能基と水分子等との親疎水性相互作用を検討した研究成果から、表面張力低下能を有する分散剤の設計、顔料分散の微分散化と高彩度顔料に適用可能となるグラフトポリマーの選定ができ、難分散性顔料である、フタロシアンブルーの到達平均粒子径が200nm以下と、十分な分散性を達成した。このことは、革新的水性塗料の多色化の可能性を大きくしたと考えられる。

革新的水性塗料の実用化に向けて、ビジネスモデル設定や実用の早期化を図るため、市場ニーズ調査を実施した。仕上り外観、コスト、作業性が3大評価点で、特に仕上り外観の重要性を指摘するユーザーが多いことがわかり、これまでの「革新的水性塗料の開発」の商品化開発目標の妥当性の検証と市場導入、販売戦略のための情報を得ることができた。

2. 研究方法

2- (1) 複合樹脂系ミニエマルジョン重合の合成

図 B-(2)-1 にミニエマルジョン調整フローを示した。メラミン樹脂をはじめ、アクリルオリゴマーや低分子量ポリエステル樹脂などを溶解させたアクリルモノマー溶液を乳化剤水溶液に加え、高速乳化機を用いて攪拌することにより乳化液を得た。その乳化液と開始剤溶液を所定温度に保たれた反応容器に所定時間で滴下して重合反応を行い、ミニエマルジョン樹脂を得た。低分子量ポリエステル樹脂は一般的なポリエステル樹脂の合成法にしたがい調製した。反応容器に多価アルコールとラクトンを加えて所定温度で反応させた。反応追跡は赤外分光光度計(IR)を用いてラクトンの特性吸収の消失度合いにより行った。

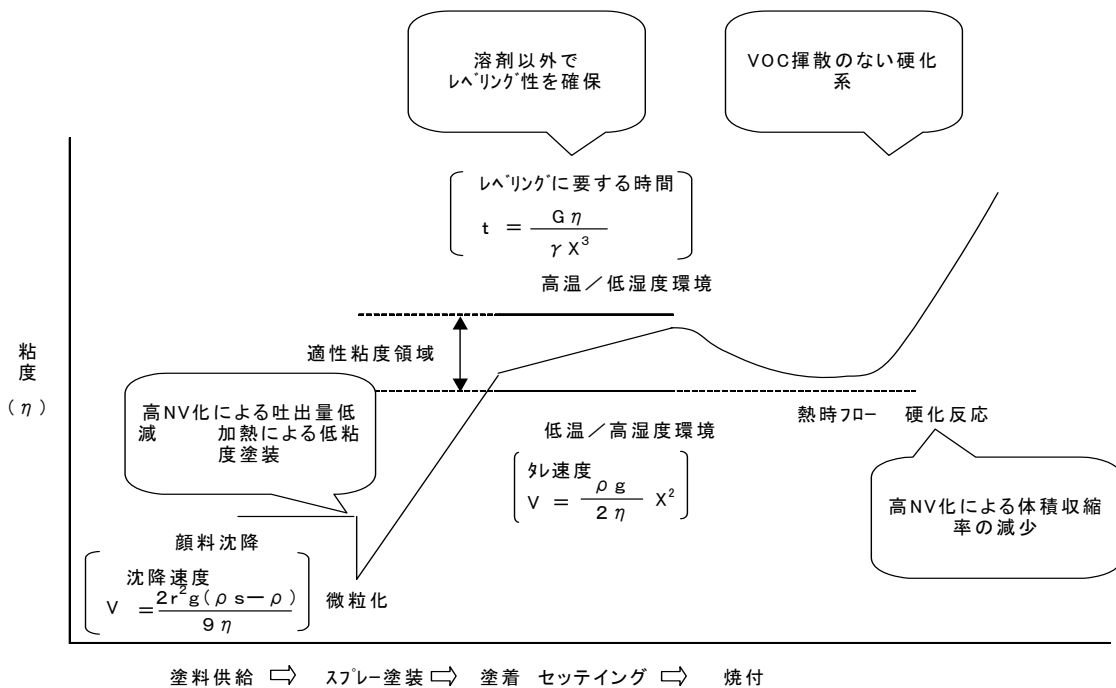


2- (2) 顔料分散用グラフトポリマーの合成

顔料は美観を発現する目的で塗膜に色彩を与え、また基材保護のための防錆材としてなど、塗料構成成分中で重要な役割を担っている。顔料の種類も着色顔料では酸化チタン、酸化鉄などの無機顔料、カーボンブラック、フタロシアニンブルーなどの有機顔料などさまざまなものが使用される。顔料の表面特性（疎水性度、酸塩基性度など）は多種多様であり、溶剤型塗料では有機溶剤、顔料分散剤などを駆使して、顔料表面への濡れ、解砕、吸着、分散、安定化というプロセスで顔料分散ペーストを製造している。この中で、顔料表面への濡れは有機溶剤によるところが大きく、さらに安定化については分散剤の顔料表面への吸着が重要である。溶剤型塗料での顔料表面への吸着は酸・塩基相互作用によるところが大きく、また有機溶剤への溶媒和によって分散顔料の再凝集を防ぎ、安定化されている。一方、水性顔料分散系では、疎水性表面の顔料を微細に水中で分散安定化する必要がある、それには酸塩基相互作用に加えて、ポリマーの水和安定化を含む親疎水的な相互作用が重要とされている。本研究では、分散剤モデルとしてPEO（ポリエチレンオキシド）を親水側鎖とするグラフトポリマーを選択した。

2- (3) 造膜技術の開発

溶剤系塗料にあっては、塗装後の塗膜は溶剤が蒸発することで塗膜固形分が濃縮されていく比較的均一で単純な工程と考えられるのに対し、水性塗料においては、塗装時では水中に樹脂が分散している水中油滴の状態から、樹脂層に水が分散している油中水滴の状態への相転換が起ることで塗膜化すると考えられ、この間の状態を制御する造膜技術が重要となる。このため塗料原液の粘性や表面張力の制御技術を開発する。低VOC、高NVの水性塗料の外観を確保するには、図B-(2)-2に示すように粘性挙動モデルが重要となる。



図B-(2)-2 粘性挙動モデル

基体樹脂として、表 B-(2)-1 に示したメラミン（硬化剤）内包エマルジョン、水溶性あるいは水分散性樹脂を組み合わせることで塗料を配合した。

表 B-(2)-1 基体樹脂の樹脂特数

樹脂形態		エマルジョン					水溶性	
No.		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
アクリル 分子量	Mw	29000	29000	223000	32000	37000	27000	8700
	Mn	11300	11300	95000	12000	12500	9000	4300
メラミン分子量 Mn		630	1500	1500	630	630	-	-
樹脂 特数	Tg(設定)	5	5	5	15	25	10	25
	SP(設定)	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	11.8	10.8
	AV(設定)	5	5	5	5	5	55.5	40
	OHV(設定)	60	60	60	60	60	70	60
	粒径(nm)	218	161	158	230	200	-	-

2-(3)-1 塗装・乾燥技術の開発

水性塗料は希釈溶媒である水の蒸発が遅いため、溶剤型塗料と比較してセッティング時間の延長や予備的な乾燥が必要となる。特に高湿度環境においては一層水蒸発量が低下し、塗膜のタレやワキが発生しやすい。一方、低湿度環境では、水が過度に蒸発し肌の低下が発生する。

塗装環境及び、塗装条件の変動に適応するためには、塗膜外観と塗装・乾燥過程における水蒸発量の関係を定量化し、塗料固形分濃度（以下 NV と略する）を制御するシステムを設計することが重要である。この検証のためには、温湿度を制御できる塗装ブースでの塗装試験が必要であり、これにより、最適な塗装環境条件におけるパラメータを決定することができる。検討に使用した塗装ブースは、ウオーターカーテン型、塗装室内サイズは幅 3700 mm、高さ 3000 mm、奥行き 2000 mm である。排気風量は最大 240m³/min. の能力を有し、塗装物付近の風速を 0~1.5m/min. で任意に変えることができる。ブース室内を、年間を通して 25°C65%の温湿度に安定化させると共に、高湿環境～低湿環境を再現させるために、給気側に新たに塗装環境制御装置を導入した。この塗装環境制御装置の能力は、風量 40m³/min.、加熱能力 25kW、冷却能力 30kW である。風量 40m³/min. 以上が必要な場合は、塗装ブースからの排気の一部を循環再使用する構造である。

エア霧化静電塗装機（旭サナック社製サンガンⅡ）は、レシプロ装置に固定し一定速度で上下させた。そして、実験用水性塗料をギアポンプにより定量供給し、コンベアにより横移動している塗装物に、所定膜厚になるように塗装した。塗着時およびセッティングでの塗膜 NV を計測した後、熱風循環型乾燥機により 150°C×25 分間で乾燥塗膜を得た。

2-(3)-2 塗装環境要因と水準

水性塗料の塗装と乾燥工程では、水の蒸発が重要な要因であり、以下に水蒸発の考え方を記載した。

WET な塗膜の恒率乾燥時の蒸発量(R(g/min.))は、以下の式で表される。

$$R=h \cdot P \cdot A \quad \dots\dots\dots (1)$$

h : 熱伝達係数 (kcal/m²·min. ·°C)

P : 乾燥速度パラメータ (g·°C/kcal)

A : 表面積 (m²)

乾燥速度パラメータ (P(g·°C/kcal))は、次式 (2) で示され、温度湿度に依存する値である。

$$P=(t - t_w) / \lambda_w \quad \dots\dots\dots (2)$$

t : 乾球温度 (°C)

t_w : 湿球温度 (°C)

λ_w : 湿球温度における蒸発潜熱 (kcal/g)

熱伝達係数 h は、風速に依存する熱伝達係数であり、また、表面積 A は塗膜の表面積に相当する。

水蒸発量に影響を与える因子とその水準範囲を定めた。

①乾燥速度パラメータ P4.2~14.4(g·°C/kcal)、温度 25.4~28.9°C、湿度 46.2~81.3%

乾燥速度 P	温度 (°C)	湿度 (%)
4.2	25.4	81.3
7.4	25.4	68.0
8.4	25.9	64.5
10.1	25.6	57.7
14.4	28.9	46.2

②風速 : 0.21~1.24 (m/sec.)

③塗装膜厚 : 28~70 μm

また、塗装では次式で表される気液比 (L/cc) を追加した。水準範囲は霧化エア量=326~490、塗料吐出量=100~300 とした。

$$\text{気液比} = \text{霧化エア量 (L/min)} / \text{塗料吐出量 (cc/min.)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ブース室内環境測定について、温度は白金抵抗式、湿度は静電容量式、風速は定温度型熱式を用いて測定した。

塗装乾燥過程の水蒸発量は、塗料吐出量、塗料 NV、塗着 NV、セッティング後 NV から以下のように算出した。

$$\text{塗装時水蒸発量} = \text{塗料吐出量} \times (1 - (\text{塗料 NV} / \text{塗着 NV})) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{セッティング時水蒸発量} = \text{膜厚} \times \text{面積} \times (1 - (\text{塗着 NV} / \text{セッティング後 NV})) \quad \dots (5)$$

塗装実験で得られた塗膜外観 (肌) と塗装作業性 (ワキ・タレ) は以下に示した表の通り求めた。

表 B-(2)-2 塗装作業性・外観品質一覧表

項目	定義
肌ランク	塗装板による肌ランク基準板との比較による官能評価 5段階評価で5が良好で1が不良
タレ限界膜厚	塗装板への膜厚傾斜塗装による孔周辺のタレ (5 mm) 発生膜厚
ワキ限界膜厚	塗装板への膜厚傾斜塗装によるワキ発生膜厚。一定膜厚ではランク表により官能評価

2- (4) 試作品の評価実証試験

造膜技術の開発で得られた作業性幅は実用レベルであると想定できる。しかし平面的な判定であり、実用上の塗装においては、被塗物が立体的である為に複雑な塗装状態である上、時間、コスト、取扱い等、生産面での制約を受ける等、実際の塗装現場ではさらに判定が厳しくなることが考えられる。また、このような中、塗装製品としての綺麗な外観品質を要求されるとともに、生産性（連続生産、品質のバラツキ、低不良率など）も重要項目とされる。

本実証試験では、弊社ユーザーの鋼製家具メーカー コクヨファニチャー株式会社三重工場様のご協力を頂き、水性塗装ラインでの適用性評価を実施するに到った。

2- (5) ポリマー樹脂の親疎水性相互作用に関する研究

溶剤型塗料での顔料表面への吸着は酸・塩基相互作用によるところが大きく、また有機溶剤への溶媒和によって分散顔料の再凝集を防ぎ、安定化されている。一方、水性顔料分散系では、疎水性表面の顔料を微細に水中で分散安定化する必要がある、それには酸塩基相互作用に加えて、ポリマーの水和安定化を含む親疎水的な相互作用が重要とされているが、顔料表面への分散樹脂の濡れはやはり有機溶剤が重要な働きをしていることが知られている。有機溶剤を含有しないことを目標とする「革新的水性塗料の開発」で留意すべきことは、有機溶剤の果たしていた機能を補填するため分散剤を多量に用いると、安定化に関しては有利であるが、一方で、親水性物質の持込みが耐水性など塗膜品質の低下を招くことである。従って、より少ない添加量で安定な顔料分散体を得られ塗膜品質の低下のない効率のよい顔料分散剤が必要とされる。本課題に対して、疎水側鎖、親水側鎖を有するポリマーモデルを考え、かつ効率的に顔料表面への吸着、水和安定化が図れる長側鎖型（グラフトタイプ）ポリマーの有効性を検証する。マクロモノマー重合法、変性グラフト法などの異なる手法でグラフトポリマーの設計・合成を検討し、後者において部分的に酸性基、塩基性基を導入することで、顔料分散樹脂使用比率が小さく、高顔料濃度化が図れると考えた。

また、親水部、疎水部の合理的な選択基準の獲得を目的としてポリマー樹脂の親疎水性相互作用に関して山口東京理科大学へ研究委託した。

2- (6) 実用化に向けての研究

中小規模の金属製品塗装工場の実ライン環境を想定し、塗装環境条件に対応できるための塗料改良の可能性を検討した。塗装・乾燥条件の塗装作業性に与えるパラメータを設定し、これを用いて評価を行った。

上記で改良した塗料を、中小規模の塗装工場の実証試験を行った。

2- (7) 導入シナリオとビジネスモデルの策定

本研究の革新的水性塗料の実用化を加速するにあたって、市場ニーズとの乖離を払い得る技術開発項目を取捨選択し、塗料設計開発指針および市場導入シナリオとビジネスモデル策定等の自主点検に向け、検討を行った。具体的には、一般工業用金属製品製造業における塗料利用状況や要求される性能等を郵送によるアンケートにより調査した。

3. 研究結果と考察

3- (1) 複合樹脂系ミニエマルジョン重合の結果と考察

3- (1) - 1 ミニエマルジョン樹脂の分子量制御

親水性の低い開始剤 A および親水性の高い開始剤 B を用いてミニエマルジョン樹脂の低分子量化を試みた。その開始剤量と得られたミニエマルジョン樹脂の分子量の関係を図 B-(2)-3 に示す。いずれの系でも開始剤を増やすことにより、粘度に大きく影響を与える重量平均分子量 (Mw) の減少が確認された。しかし、これらのミニエマルジョン樹脂を用いた塗膜において顕著な光沢値の向上は認められなかった。

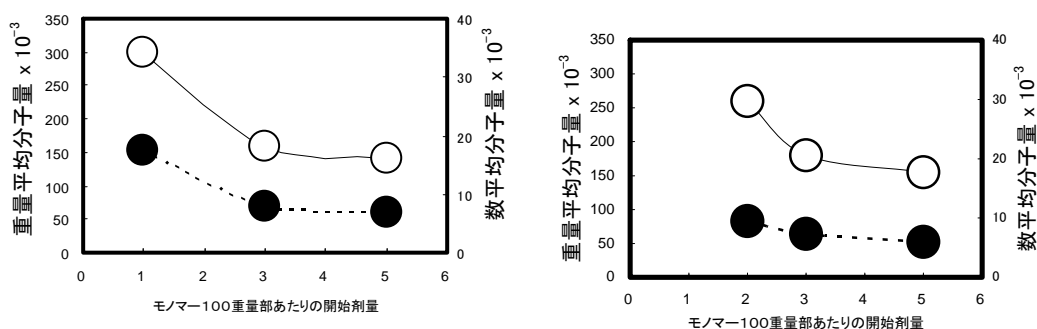


図 B-(2)-3 開始剤の増量によるミニエマルジョン樹脂の分子量低下効果

(a) 開始剤 A (低親水性)、(b) 開始剤 B (高親水性)

3- (1) - 2 メラミン内包ミニエマルジョン樹脂の生産検討

メラミン内包ミニエマルジョン樹脂が 100L スケールで製造できることを明らかにした。さらに工場の生産機での製造を試みた。モノマーエマルジョンの粒子径制御や重合熱の除熱制御に関する知見に基づいて工場設備の条件設定を実施した。その結果得られたミニエマルジョン樹脂の特数値を表 B-(2)-3 に示した。工場で生産されたミニエマルジョン樹脂は、ラボスケールやパイロットスケールで製造されたそれらとほぼ同等の特数値を示すことがわかった。

表 B-(2)-3 メラミン内包ミニエマルジョンの特数値

サンプル	バッチサイズ/kg	NV/%	pH	粒子径/nm
L72	5	44.5	8.3	272
L73	5	44.9	8.4	267
PL#1	300	43.1	8.8	286
PL#2	300	42.3	8.8	296
FS#1	3,200	43.8	8.9	300
FS#2	3,200	43.5	8.7	292

3- (1) - 3 考察

種々の複合ミニエマルジョンの作成が可能であることが検証できた。メラミン内包ミニエマルジョンについては、ラボスケールから工場スケールまで樹脂の特性をほぼ再現しており、スケールアップについても大きな問題はないと判断できる。

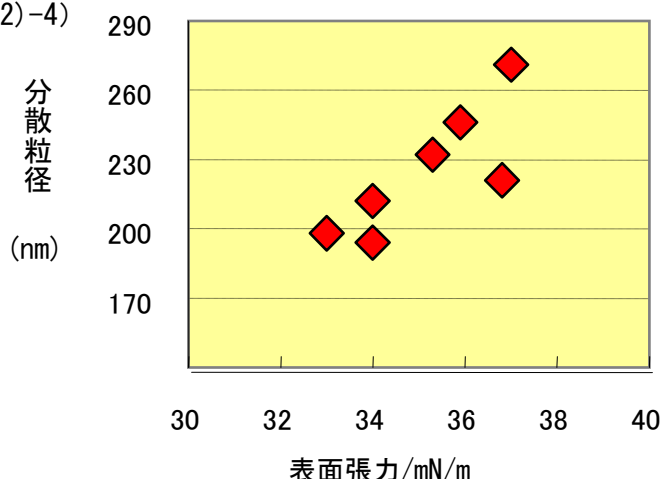
3- (2) 顔料分散用グラフトポリマーの合成の結果と考察

3- (2) - 1 顔料分散用グラフトポリマーの合成

疎水側鎖、親水側鎖を有するポリマーモデルを考え、かつ効率的に顔料表面への吸着、水和安定化が図れる長側鎖型(グラフトタイプ)ポリマーの有効性を検証した。マクロモノマー重合法、変性グラフト法などの異なる手法でグラフトポリマーの設計・合成を検討し、後者において部分的に酸性基、塩基性基を導入することで、顔料分散樹脂使用比率が小さく、高顔料濃度化が図れることを示したが、グラフト効率の低さから塗膜耐水性が不足する結果となった。そこで塗膜耐水性の向上を目的としてグラフト効率向上に取り組んだ。

3- (2) - 2 ポリマー構造と表面張力、分散到達粒径の関係

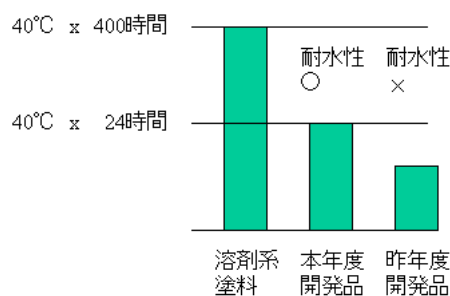
有機溶剤代替のぬれ性改善を目的に開発したポリマーA型分散剤水溶液の示す表面張力と分散到達粒径の関係を検討した。側鎖Rの炭素鎖数を変化させることにより、その水溶液が示す表面張力を低下させることができ、表面張力が34mN/m以下になった分散剤を用いてフタロシアニンの分散を行うと、粒径200nm以下に到達できた。また、水溶液の表面張力の異なる分散剤を合成して行った実験から表面張力低下能力と到達分散粒径の間には正の相関があることが確認できた。(図B-(2)-4)



図B-(2)-4：表面張力と分散到達粒径の関係

3- (2) - 3 耐水性改善

グラフト効率改善による耐水性向上を目的にポリマーB型分散剤を検討した。側鎖PEOの末端反応性官能基を水酸基からより高い反応性の基に変更することで、グラフト効率をほぼ100%とすることができた。改良品は分散ペーストの粒径5 μ m以下と40°C10日の貯蔵安定性を確保でき、PEOブリードが見られないことから耐水性は大きく改善された。達成レベルを図B-(2)-5に示す。



図B-(2)-5 耐水性の達成レベル

3 - (3) 造膜技術の開発の結果と考察

3 - (3) - 1 粘性制御材と塗料の流動曲線

粘性制御材を添加した塗料の流動曲線を図 B-(2)-6 に示した。粘性制御材により構造粘性を付与することが可能である。

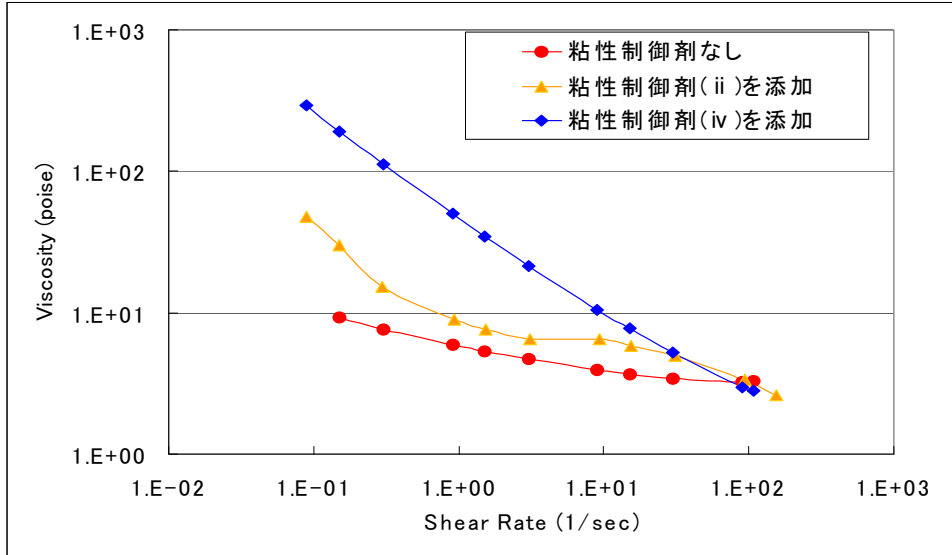


図 B-(2)-6 塗料の流動曲線

3 - (3) - 2 改質材による塗着粘度の低減

基体樹脂の 30 重量%を低分子量ポリオール④に置き換えた時の塗料の粘度/NV の関係を図 B-(2)-7 に示した。低分子量ポリオールを用いることによって、NV が約 70 重量%以上の粘度を軽減できることがわかった。

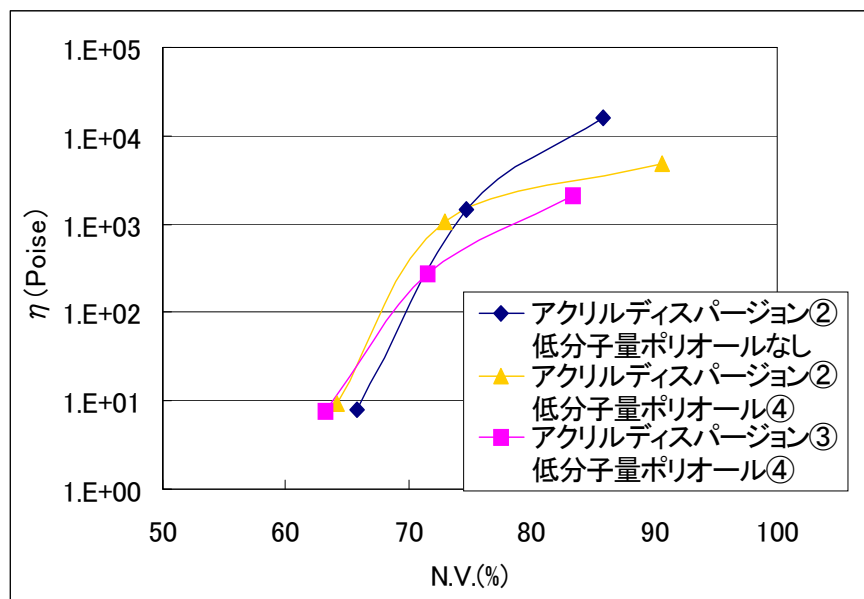


図 B-(2)-7 低分子ポリオールを導入した時の粘度-NV 曲線

3- (3) - 3 改質材による溶融粘度の低減

基体樹脂の30重量%を低分子量ポリオールに置き換えた時の溶融粘度を図B-(2)-8に示した。低分子量ポリオールの適用により溶融粘度は僅かに低下するものの、現行ライン品のレベルには至らなかった。また、低分子量ポリオールを適用すると硬化開始が遅延されることがわかった。

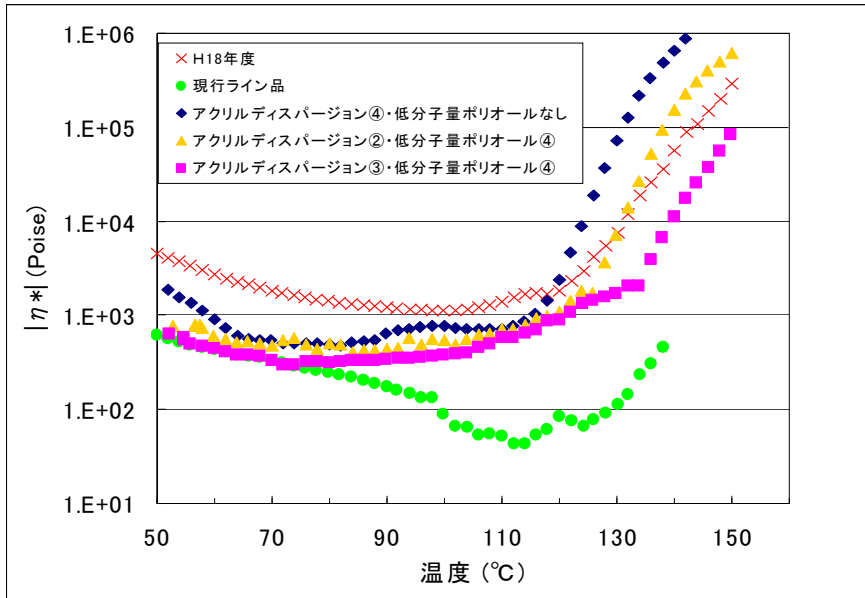


図 B-(2)-8 低分子量ポリオールを導入した時の溶融粘度

3- (3) - 4 改質材によるワキ性改良

基体樹脂の30重量%を低分子量ポリオールに置き換えた塗料のワキ性は大幅に改善されることがわかった。その原因として、塗着粘度の低下およびまたは硬化開始遅延が考えられる。

3- (3) - 5 低分子量ポリオールの適用と表面粗度

表B-(2)-1の低分子量ポリオール④と⑥を適用した塗料の、セッティングから焼付け工程における表面粗度を比較した。図B-(2)-9から、光沢の悪い塗料では塗装直後のセッティング段階から粗度が大きいことが示唆される。

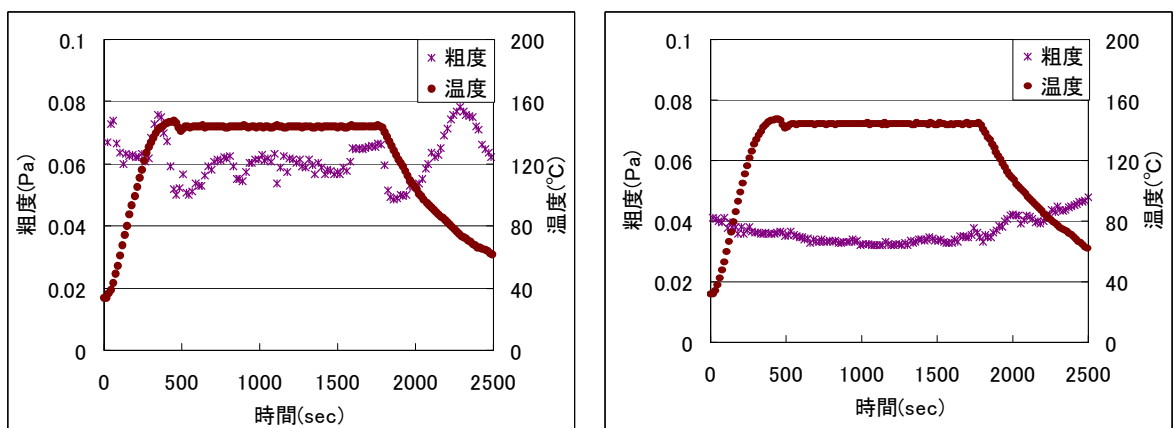


図 B-(2)-9 硬化過程での表面粗度変化 (左図; ポリオール④、右図; ポリオール⑥)

3- (3) - 6 考察

ワキ性には、塗着粘度と硬化速度の影響が大きく、低分子量ポリオール適用は有効であった。

光沢向上の為、低分子量ポリオールの添加による溶融粘度の低下を検討したが、現行品の溶融粘度に至らなかった。また、低分子量ポリオールと基体樹脂との相溶性を考慮することにより光沢の一定の向上ができた。これらをベースに試作品配合を決定した。

3- (4) 試作品と実証試験結果

3- (4) - 1 試作品

試作用に開発した塗料 ND105 は、希釈時固形分 65% (従来品 47%) VOC4%と、従来にない高固形分濃度品が得られたが、課題として 60° 光沢の上昇、塗膜肌の改良が必要であった。これらは、ワキ限界膜厚をアップする改良を含め事業部で検討した。

改良手法は、焼付前の泡抜けを良くするために、塗料系に適合する水系消泡剤を各種選択、効果のあるものについて量の適正化を行った。これらの改良によりワキ限界膜厚の向上ができた。

表 B-(2)-4 に示したように改良品 ND144 は、タレ、ワキとも開発目標値の 50 μ を達成した。

表 B-(2)-4 改良品塗装性

	ND105	ND144	現行水性(OEL)
タレ限界膜厚(μ m)	60	60	40
ワキ限界膜厚(μ m)	40	50	40
塗膜肌	△	△	○
※ 弊社寝屋川自動塗装機ラボ試験による ブース環境 23°C 58%RH セッティング常温×10分 → 焼付 140°C×20分キープ			

3- (4) - 2 塗装ライン概要

実証試験を行ったライン構成は次のとおりである。

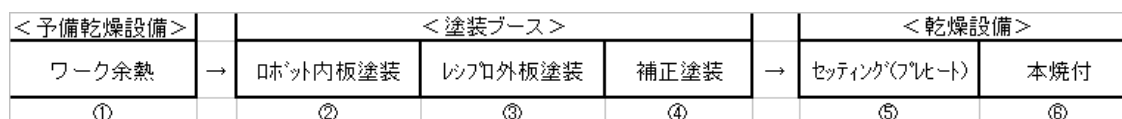


図 B-(2)-10 塗装工程フロー

実証試験には ①OFF、②OFF、④OFF ⑤OFF (比較でON) ⑥140°C×20分キープ外板塗装のみとし、種々の塗装条件水準で実施した。ブース全景、レシプロケータ塗装状況を以下 図 B-(2)-11、B-(2)-12 に記載した。



図 B-(2)-11 塗装ブース 手前は内板塗装用ロボット、奥に外板塗装用レシプロケーター



図 B-(2)-12 ワゴンワークを塗装するレシプロケーターと静電スプレーガン

3 - (4) - 3 試験結果

塗装条件ならびに塗装試験結果を表 B-(2)-5 に記した。

表 B-(2)-5 塗装条件ならびに塗装試験結果

試験 No.		1		2		3		4	
塗料		ND144		ND144		ND144		ND144	
被塗物		ワゴン1	パネル1	ワゴン2	パネル2	ワゴン3	ワゴン4	パネル3	パネル4
試験時刻		16:20	16:30	19:20	19:30	19:40	19:40	19:49	19:49
塗装粘度		29℃ 22"	29℃ 22"	29℃ 23"	29℃ 23"	29℃ 23"	29℃ 23"	29℃ 23"	29℃ 23"
環境条件		32℃ 44%	32℃ 45%	29℃ 54%	29℃ 57%	28℃ 57%	28℃ 57%	28℃ 57%	28℃ 57%
ブース温調		OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
セッティングプレヒート		OFF	OFF	OFF	OFF	ON(45~50℃)	ON(45~50℃)	ON(45~50℃)	ON(45~50℃)
霧化圧、 パターン圧 (MPa)	レシプロA	0.35,0.22	0.32,0.22	0.35,0.22	0.32,0.22	0.35,0.22	0.35,0.22	0.32,0.22	0.32,0.22
	エアスプレー		塗装なし		塗装なし			塗装なし	塗装なし
	レシプロB	0.35,0.22	0.32,0.22	0.35,0.22	0.32,0.22	0.35,0.22	0.35,0.22	0.32,0.22	0.32,0.22
吐出量 (ml/分)	レシプロA	180×4	180×4	180×4	180×4	180×4	180×4	180×4	180×4
	エアスプレー	210×2	塗装なし	210×2	塗装なし	210×2	210×2	塗装なし	塗装なし
	レシプロB	180×4	180×4	170×4	200×4	170×4	170×4	200×4	200×4
補正		なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
静電圧(-kV)		75	75	75	75	75	75	75	75
膜厚 (μm)	A面	44~56 (50)	28~40 (36)	43~54 (49)	30~48 (40)	47~52 (49)	47~54 (50)	31~47 (39)	28~45 (37)
	中央	37~60 (50)		41~60 (51)		51~61 (55)	46~57 (53)		
	B面	51~61 (57)	24~44 (35)	48~58 (54)	45~58 (50)	45~50 (48)	49~56 (52)	37~52 (44)	39~51 (45)
外観	A面	タレ	○	○	○	○	○	○	○
		ワキ	コーナーに僅か	○	コーナーあり	×	コーナーあり	×	×
		肌	△	△×	△	△×	△	△×	△×
		60° 光沢			28	33	33	33	33
	中央	タレ	○	-	○	-	○	○	-
		ワキ	○	-	コーナーあり	-	×	×	-
		肌	△	-	△+	-	△+	△×	-
		60° 光沢		-	29	-	31	31	-
	B面	タレ	○	○	○	○	○	○	○
		ワキ	コーナーに僅か	○	コーナーあり	×	×	×	×
		肌	△	×	△+	△	△+	△	△
		60° 光沢			31	30		29	31
備考			A表B裏		A裏B表		A表B裏	A裏B表	A裏B表
[固定条件]			コンペア速度: 1.6m/分	フロストローク: 2500 mm		塗装距離: 350-400mm	レシプロ線速: 57m/分		

3 - (4) - 4 考察

- ① 今回の試験において、低吐出量であっても塗膜の膜厚を 50 μm 以上付着させる事ができた。この結果は、塗料使用量低減につながり、環境面、経済面で現行水性よりもさらに有利となる可能性があるということで、これらを実ラインで確認できた。
- ② 微少のワキの発生、スピット発生による外観不良があった。他、塗料が乾きやすく、洗浄、皮張り、ダスト馴染みに難がある事が判明した。課題として、ワキレベルの向上の他、乾き易さに由来する諸問題であるスピット、洗浄性、皮張り、ダスト馴染み性の改良である点を抽出できた。
- ③ 焼付前のプレヒート(設定 80°C) ON/OFF 影響について、試験した結果 OFF にした方が良好であった。結果的には、プレヒートは不要であった。熱エネルギー削減への貢献、通常溶剤ラインへの適用に可能性が見いだせた。

以上をまとめ、実用に向けて下記のように課題として抽出できた。

表 B-(2)-6 課題まとめ

課題		現状レベル	要因	目標
塗膜外観	光沢	全艶で 50 ~ 60 程度	分散性、溶融粘度、相溶性、レベリング	60° グロス 85以上
塗膜性能	耐水(湿)性	7リスタ 8D~9D	吸湿、透水性	50°C 98%RH × 100hr 異常なし
塗料性状	洗浄性(乾き問題)	現行水性(OEL)より劣る	塗着NV、塗着粘度、材料特性	現行水性(OEL)と同等
塗装作業性	塗膜肌	現行水性(OEL)より劣る	塗着NV、塗着粘度、レベリング	現行水性(OEL)と同等
	ワキ	ワキ限界 50 μm 以下	泡かみ、乾き、塗着粘度、レベリング	ワキ限界 70 μm <

3 - (5) ポリマー樹脂の親疎水性相互作用の研究結果と考察 (東理大で実施)

恒温滴下型微小熱量測定計を用いて PE0 マクロモノマーとそのポリマーの水和熱を測定し、それらの親水性の程度を見積もった。試料の PE0 ユニット (-CH₂CH₂O-) あたりの水和熱は、モノマー状態では PE0 部が低分子量 (M=400) のほうがより親水性が高かったが、ポリマー化

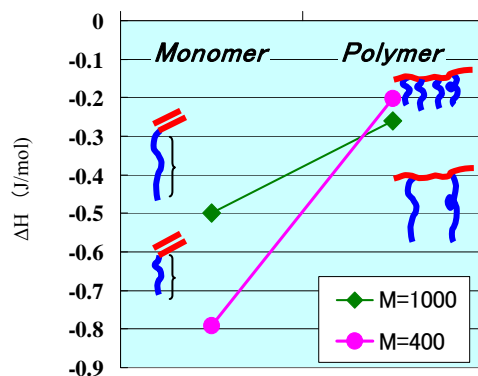


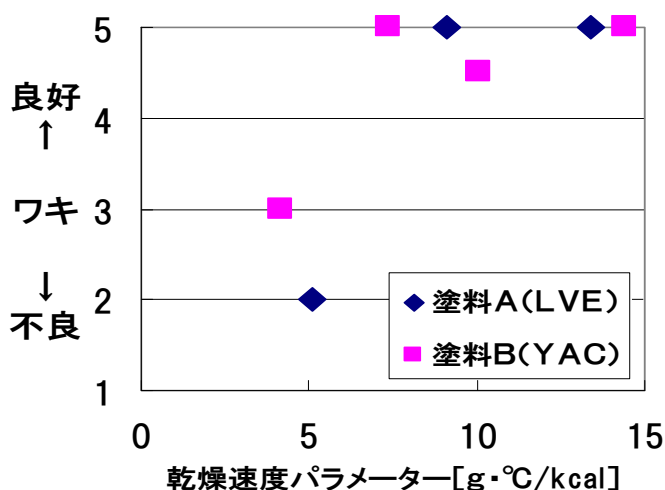
図 B-(2)-13 : 側鎖 PE0 鎖長による水和熱の比較

すると PEO 部が高分子量 (M=1000) のほうがより高い親水性を示し、親水性の順序の逆転が見られた。このことはポリマー化で生成した疎水性主鎖近傍では部分的に側鎖への水和が起こりにくく、その割合の高い、側鎖分子量の低いグラフトポリマーにおいて親水性の低下がより顕著に現れたためと考えられる。表面張力低下能を有する分散剤 (ポリマーA) の分散能力とその合成のスケールアップ可能なことを確認できたことにより、当該グラフトポリマーの工業的規模での利用に技術的な目処がついた。本開発分散剤を用いて達成できた分散状態の安定化にはポリマーB型分散剤の併用が有効であると考えられる。さらに今後、本材料を高外観が要求される分野に適用拡大するには、成膜過程での分散安定性確保にむけた技術開発に取り組む必要があるものと想定する。

なお、この部分の研究は山口東京理科大に委託され3件の研究発表と研究論文1報の成果を得た。これにより、研究人材の育成に寄与し、また、大学では珍しい塗料領域まで研究分野を拡大した。

3-(6) 実用化に向けての研究

乾燥速度パラメータを設定し、これに対する仕上状態を評価した。図B-(2)-14に示したように開発した塗料Aは、高シェア粘度の低下と塗着NVに相当する粘度が低下したことにより、外観(肌)は低湿条件を含め全環境で向上した。高湿環境でのワキが低下したが、セッティング後のNVが80%であったためであることがわかり、塗料加温など、塗料及び塗装環境の微調整により85%以上にすれば改善できる見通しがついた。



図B-(2)-14 乾燥速度パラメータと塗膜外観評価の関係

上記塗料を用いて実証試験を実施した。

(実験場所) 東大阪市；F塗装工業株式会社(従業員数50名)第一製造ライン

表 B-(2)-7 F 塗装工業での塗装試験結果

		塗料A	塗料C
塗装性	膜厚の付き方	○	○
	取り扱い性	○	○
	ガン洗浄性	○	○
	コメント	両塗料とも溶剤系塗料の感覚で塗装できるが、塗料Cがより溶剤系塗料に近い。高粘度での塗装では、溶剤系より乾燥が速く感じる。	
仕上がり 塗膜外観	膜厚	○	○
	タレ	△	○
	ワキ	△	○
	スケ	○	○
	濡れ・ハジキ	○	○
	塗膜肌	△ ラウンド大	○
	平滑性Ra	0.25	0.21
	コメント	塗料Aについては、外観と塗装作業性の両立が出来ていないが、塗料に対する慣れと添加剤等の調整により改善、制御が可能である	

溶剤を含有させることで塗装作業性、仕上がり外観等を優先して開発した水性塗料Cの方が現場レベルでは評価が高くなった。VOC量を限界まで下げた水性塗料Aでは不利との結果となっている。しかし、共通して溶剤系ラインの置き換えは可能であるとの評価も得ており、「高NV・低粘度化」技術が現場でも評価された結果と考えられる。



図 B-(2)-15 F 塗装工業での試験塗装

3-(7) 革新的水性塗料市場調査結果と考察

アンケート調査の結果、革新的水性塗料に係る市場概況について以下のことが示された。

環境配慮型塗料に対する関心について中小規模の事業所においては、現段階では水性塗料の利用はほとんどないが、3割程度の事業所が塗料変更を計画するなど、検討が進む可能性がある。そのため、多くの事業所が環境配慮型塗料に関する情報を欲していると思われる。また費用面での課題等により、VOC回収装置の導入は進んでいないのが実態であった。

水系塗料導入にあたっての評価項目に関して、塗料導入にあたっては、仕上がり外観、作業性、塗装費用が3大評価項目であった。中でも仕上がり外観と塗装費用に対する重視度は高く、特に事業所の規模や被塗物の種類を問わず、仕上がり外観については妥協できない項目と位置づける事業者が多かった。金属製被塗物への塗装は現段階では溶剤系塗料が一般的であった。金属製建材・家具や、電機機器分野では粉体塗料が一部で使われているほか、自動車部品では電着水系塗料が使われている。電着以外の水系塗料の利用は、鋼製家具・什器、容器、その他金属製品等の一部に限られていた。塗料種類ごとの選定理由について、粉体塗料は仕上がり外観での評価が高かった。電着以外の水系塗料については、仕上がり外観での評価は低く、サービス、貯蔵期間での評価でカバーしている。

考察：以上の革新的水性塗料に係る市場概況調査結果を踏まえ、革新的水性塗料の市場導入に向けたビジネスモデル構築に向けて、以下の点に留意する必要がある。

環境配慮塗料への変更は多くの塗装事業者の視野に入りつつある。塗料変更にあたっては、仕上がり外観、塗りやすさ（作業性）、コストの3点が大きな評価ポイントとなっており、特に仕上がり外観について金属製被塗物への塗装事業者にとっては妥協できない点であった。しかしながら、水系塗料については、仕上がり外観についての評価が低く、これまでは粉体塗料に先行されている。革新的水系塗料の市場導入を円滑に行うには、高度な仕上り外観を達成するための技術開発は欠かせない。その上で、水系塗料の外観が悪いという先行イメージを払拭すべく、金属製被塗物の塗装事業者に革新的水性塗料の特性を正確に情報伝達することが必要である。具体的には、外観が要求される分野における採用・実証実績の蓄積が有効と考えられ、鋼製家具・什器や容器等について導入を呼びかけることが必要であろう。

新しい塗料導入にあたっては、その品質に対する信頼性をいかに獲得するかが重要な課題となる。塗装方法を理解せずに導入初期に悪評価を受け、その後の市場での評価を下げるような事は避けなければならない。特に導入初期にあつては、各々の事業所で適切な塗装方法で適切に評価頂くための『小回り』の利いた対応は欠かせないと考える。

4. 結言

水性系において異なる品質を持つ樹脂を複合化することで、単独では困難な性能を満足させる複合樹脂系エマルションが開発でき、溶剤の無い状態では困難な顔料分散も、顔料分散用グラフトポリマーの開発により水性系での分散安定化が確保できた。造膜過程の研究により実用化への制御技術が開発できた。これらの、要素技術開発により目標のVOC5%以下、塗膜品質溶剤レベルが達成できた。プロトタイプにて、金属製品塗装工場にて塗装試験を実施できた。自動塗装機を有する工場では、高固形分濃度の塗料であるため一度で厚膜塗装が可能という評価も得た。

工業用金属製品市場をベースに検討してきたが、要素技術として開発してきた複合樹脂エマルジョン技術、顔料分散用ポリマー技術や造膜制御技術などは、水性塗料開発に汎用的に応用展開可能であり、一般的に工場塗装される分野へ市場を拡大していくことが可能であり波及効果は大きい。塗装時の VOC5%以下という数字は、現在使用されているスプレー塗装を前提とした時、現実的な限界値に近く現時点での世界最高レベルと言える。競合技術は、VOC0%の粉体塗料、溶剤型ハイソリッドなどが考えられるが、粉体塗料では設備改造が必要であり、ハイソリッドではVOC5%以下の設計は難しいと考えられ、今回のような新たな投資を抑え現有設備を活用できる点で競合優位性がある。革新的水性塗料は 2010 年に商品化を予定しており、VOC 削減量は、2010 年 1,000 t、2015 年 20,000 t 以上と想定され達成が可能である。

目標と研究実績を以下の表にまとめた

目標	目標値	研究実績	達成度
1) 塗装時の VOC 排出量を 5%以下とする	VOC5%以下	4%	達成
2) 新たな投資を必要とせず、現有設備で塗装可能とする。	固形分濃度 60% プレヒートが不要	63% 不要	達成
3) 現在使用している溶剤型塗料と同等の製品レベルを有する	コスト 現行=100 塗膜平滑性 Ra<0.3 耐水性 異常なし	104 0.25 ブリスタ 8-9D	達成 達成 屋内用として達成

5. 実用化・事業化までのシナリオ

市場導入へのポイントとして、仕上り外観、塗装作業性、コストの3点が挙げられている。このコストについてトータルランニングから製品1個当りの塗装単価として計算している。試算では、現行溶剤型塗料使用時のトータルコスト指標を100とすると、既存水性型113、革新的水性塗料104であり、昨今の原油価格高騰などを考慮すればコスト的にも十分競争力がある。また、近隣住民への火災、臭気の問題解消など、実用化によるメリットもあり顧客にも十分受入れられると考える。もし、革新的水性塗料が、一般工業用市場で全量使用されたと仮定すると、塗料18.2万t、希釈・洗浄用溶剤5.4万t、合計23.6万t（2005年日本塗料工業会調べ）のうち14.5万tがVOCとなるが、この内の13.8万tの削減が可能となる。

図B-(2)-16に今後のロードマップを示した。革新的水性塗料は現在SWHS Type-1の位置にあり、想定市場を鋼製家具としている。今後、フィールドテストを経て2010年度には、市場導入をはたすべく検討中である。また、図B-(2)-17に示したように、開発した技術は、特に水性化を目指す領域に応用・適用可能と考えられ、建設機械や鉄道車両などの工業塗装分野や、自動車塗装の分野にも展開していきたいと考える。

最終目標のSWHS type-IVは、具体的にはVOCゼロの完全水性化であるが、現状では架橋反応による揮散物質1%強の存在を回避する手段が無く中断している。達成のための課題は代替可能な架橋系の探索であるが、模索中の域を出ていない。

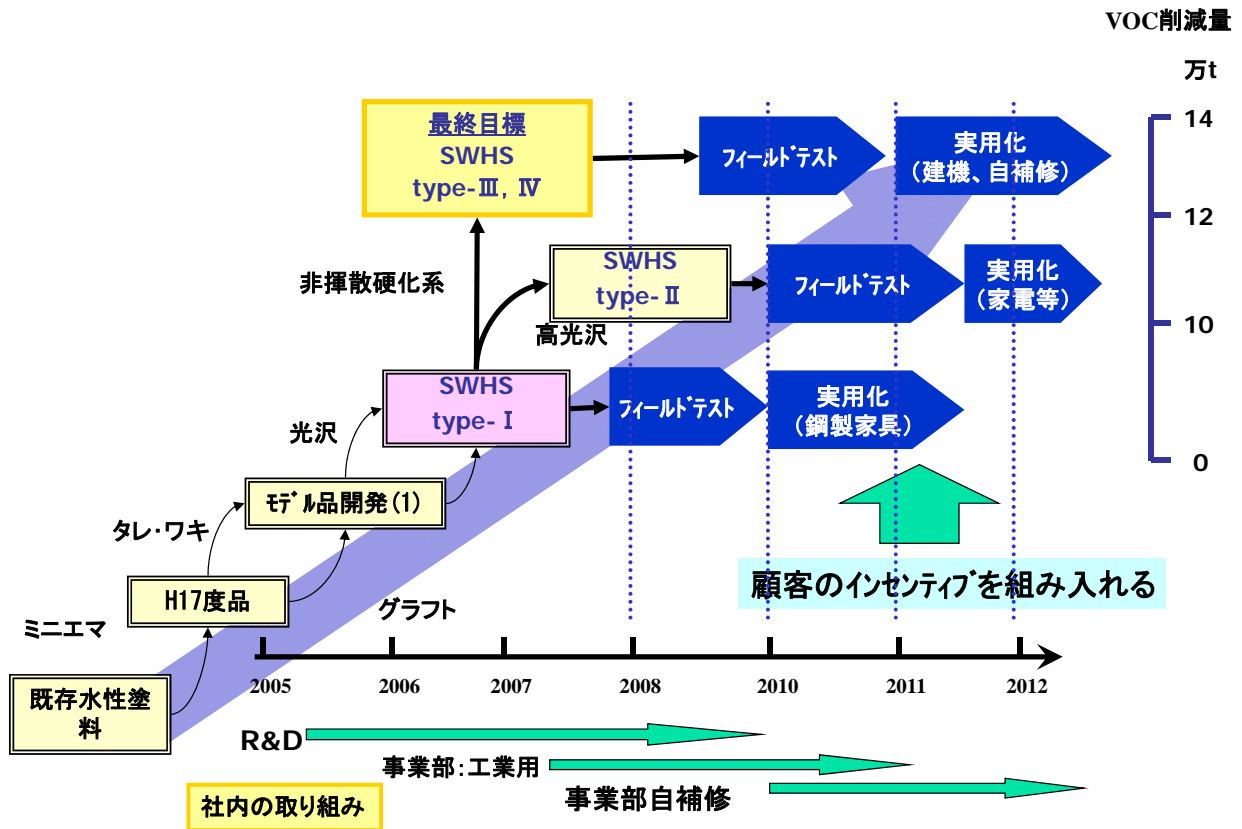


図 B-(2)-16 実用化ロードマップ

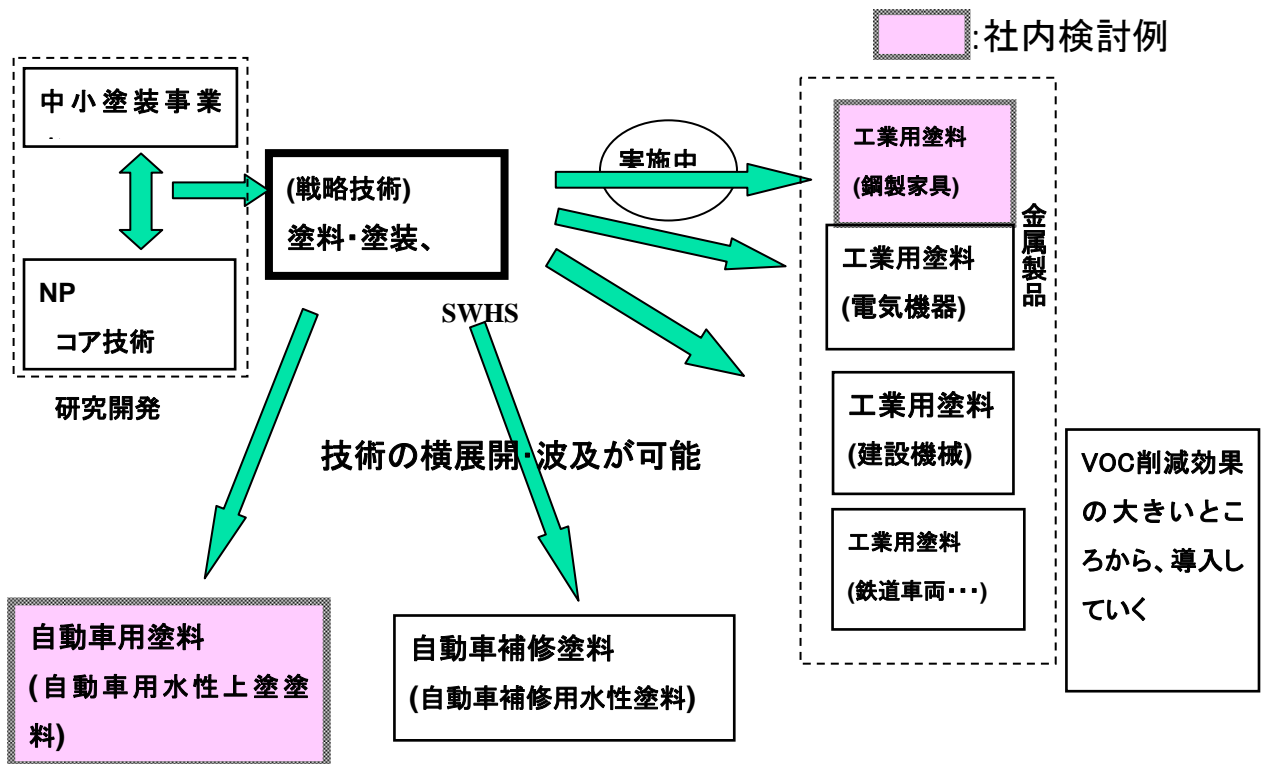


図 B-(2)-17 技術波及領域