

# 化学部会 講演会（2019年12月度）報告

日時：2019年12月14日（土） 15:00～17:10  
場所：日本技術士会近畿本部会議室 参加者：27名

## 講演1 エアバッグの製品不良と技術者の関係

～ エアバッグ リコール問題から見た 問題分析と真因対策立案の提案 ～

講演者：小田 慎吾 技術士（化学部門） 小田技術士事務所（元株式会社ダイセル）

### はじめに

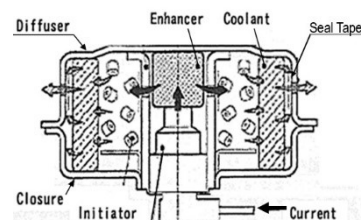
株式会社ダイセルでエアバッグに使われるインフレータの開発責任者、品質保証責任者をされた経験から、技術面、T社のリコール問題の真因とその解析、真因説明をするためのなぜなぜ分析について話された。

### 1. エアバッグ及びエアバッグインフレータの技術

エアバッグは「補助」拘束装置でありSRS（Supplemental Restraint System）と略される。衝突検知後数ミリ秒で電子制御ユニット（ECU）が着火電流を流す⇒電流を受けてインフレータがガスを発生⇒バッグがふくらむ、ことで乗員を守る装置である。

#### 1-1 インフレータ

インフレータの内部構造は、図1のとおりであり、作動は①1.2A×2ms（2.55A×0.29ms）の電流供給、②イニシエータが着火してエンハンサに火を点ける、③エンハンサがガス発生剤に火を点ける、④発生したガスで内圧が上昇してシールテープを破る、⑤ガスはクーラントで冷却されバッグに供給。イニシエータには上記①の条件で着火すること、0.3A×10秒で着火しないこと、密閉構造であることが求められる。火薬はZPP（ジルコニウム／過塩素酸カリウムで構成され着火エネルギーは数μJと極めて低い）、長期保管には非常に安定である。設計や製造に関しては、容器を含めて高度な技術が必要である。



日本化学会誌2002年3月号 281-288  
図1 エアバッグインフレータ

#### 1-2 ガス発生

ガス発生に関しての要求事項は次である。①高速で燃焼してガスを出す、②使用原料に毒性成分を含まない、③発生ガスが人体に無害、④硝酸アンモニウムを使わない。急激にガス発生剤を燃焼させるため、表面から燃焼し、液体状態を経てガスの状態になるタイミングで急激に圧力を下げることで、急激なガス反応を起こさせる。最も一般的な組み合わせは、燃料：グアニジン硝酸塩（図2）と酸化剤：塩基性硝酸銅（ $\text{Cu}_2(\text{NO}_3)(\text{OH})_3$ ）と、その他添加剤の組み合わせである。

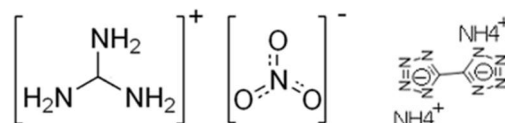


図2 グアニジン硝酸塩

図3 BHT

別処方として、燃料：BHT（5,5'-bis-1 H-

tetrazole di-ammonium salt）（図3）、酸化剤：相安定化硝安（PSAN：硝酸アンモニウム＋硝酸カリウム）もある。これは、硝酸アンモニウムは温度により結晶構造が変化（密度の変動）するが、カリウムイオンの共存で常温付近での相変化が無くなることを利用している。

#### 1-3 求められる品質保証

インフレータは重要保安部品としてゼロ欠陥を求められるが、出荷前の作動検査が出来ないため、抜き取り検査による統計的手法で保証している。また、市場で不具合らしい現象が発生したら、原因や対処法がわからない状態でもトップに報告する。これはトップの認知バ

イアスを排除する方法として有効である。

## 2. リコールから紐解く、エアバッグの不具合と対応の解析

2004年以降、相安定硝酸アンモニウムを用いたT社製エアバッグの異常破裂（全世界で約200件、死者は最少18名）により、2008年以降2017年11月までに世界で8100万台以上がリコールとなった。

### 2-1 異常破裂の原因

2016年9月の米国政府発表資料、2016年8月発行の火薬学会誌（EXPLOSION）をもとに説明する。固体のガス発生剤は、固体表面が燃焼し、ガス発生速度は表面積と圧力によって決まる。硝酸アンモニウムは相対湿度20%以下では風解、60%以上では潮解する。吸湿・乾燥を繰り返すと、粒子が大きくなり結晶間に隙間が出来る。発生した隙間に火炎が入り、燃焼表面積と発生ガス量が急増して内圧が上昇し破裂に至ることが原因であった。

T社の製品は、1996年11月に特表2001-504432を出し、実用化に向かっていった。開発過程の1999年と2000年に自動車会社での評価試験で破裂があったが、溶接不具合とガス発生剤充填工程の間違いで収めた。

2000年に、PV報告書（生産検証試験中に破裂・性能規格はずれ等もあったことを削除）を作成し量産を開始した。その後（結果的に真因で無かったが）原料BHTの粉碎を行わなければ破裂が発生しないことが分かったとして、2001年に全ての項目に合格の結果を得た。

### 2-2 量産開始後、異常破裂原因がわかるまで

2000年にPV報告書には虚偽があるという社内告発が2件あったが会社は動かなかった。2003年スイスで破裂事故、2004年にも破裂事故があったが例外的とした。2007年に製造工程の湿度管理ミスとしてリコール、さらに成形圧不足と管理不足としてリコールを実施。

2014年にFraunhofer ICTが高温高湿地域での吸湿・温度変化が原因と確定するまで、真因の確定には14年かかった。

### 2-3 異常発見時の対応について

異常破裂原因の解明が出来ないまま量産を開始し、トラブル原因が次々変動し、真因解明まで14年を要した。その間、企業倫理面でも内部告発が活かされなかったなど問題があった。また、新車発売が遅れる等の時間的な制約があったとはいえ、データ改竄、虚偽報告は容認できない技術者倫理違反である。米国政府発表の報告書には、技術者倫理違反の原因は記載されていないが、経緯を見るとBHT粉碎の有無などの現象論に終始し、不具合発生機構の検討をしていない。真理を追究する姿勢が無かったことが技術者としての自覚を失わせ、技術者倫理違反にも鈍感になったのではない。

東京工業大学札幌教授は、技術者倫理には「予防倫理（悪いことをしない）」と「志向倫理（良き生き方に向かう）」があるが、技術者の心に「良い社会の実現に貢献しているという幸福感を持つ」という志向倫理が重要と主張されている。社会における技術者倫理は、ルールや自覚を強調する予防倫理でなく、志向倫理を志すことが、より重要であると考えられる。

## 3. 真因解析の重要性（なぜなぜ分析）

原因解明と対策に際し、真因対策を行わないと事故は再発する。真因解明にはなぜなぜ分析が有用である。例として東名高速道路の事故多発地点の解析を紹介した。なぜなぜ分析は可能性を全て拾い出して消して行き、消えない真因全てに対策する考え方である。

### Q&A

Q なぜなぜ分析について演繹法と帰納法では、帰納法の方が正しく収束すると思うが。

A なぜなぜ分析では論理的考察が最も重要である。そういう意味では演繹法である。

文責 藤橋雅尚 監修 小田慎吾

## 講演2 繊維仕上げ剤としてのマイクロカプセル

～ その応用例と開発動向について ～

講演者：高岡 直樹 技術士（化学）（三木理研工業株式会社 開発技術部）

### 1. マイクロカプセルとは発見時の対応について

マイクロカプセルとは、大きさ数 $\mu\text{m}$ ～数百 $\mu\text{m}$ の容器であり、海洋マイクロプラスチックの大きさ（0.3～5mm）と比較すると非常に小さい。粒径を体積基準球相当径で判断し、分布の中央値をマイクロカプセルのサイズと定めている。

カプセル壁はウレタン、メラミン、アクリルなどで構成されており、用途は幅広く、感圧紙、感熱紙などのノーカーボン紙をはじめ、農薬、化粧品などがある。

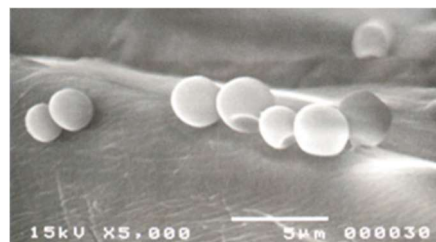


図1：マイクロカプセル

### 2. 三木理研工業株式会社の概要

三木理研工業株式会社は、昭和42年に創業、従業員数約50名（パート含む）であり、ISO9001、BlueSign®システムパートナー、健康経営優良法人を取得しており、和歌山市内では優良な中小企業であり、地域未来牽引企業と認定されている。和歌山市に本社および本社工場、紀の川市に桃山工場がある。「優しさ創造コーポレーション」をキャッチフレーズとして、様々な日常生活での課題解決に取り組んでいる。

事業として、繊維仕上げ剤の製造・販売、建材用の薬剤の開発・製造・販売があり、製品は、繊維用仕上げ剤として、撥水剤、風合い調整剤、形態安定加工剤、抗菌剤、芳香剤などがあり、建材用薬剤として接着剤、木材寸法安定剤（スギ・ヒノキ）、防炎剤、ホルマリンキャッチャー剤などがある。

### 3. 繊維仕上げ剤の開発

アパレル製品の製造過程で機能化を持たせるために繊維仕上げ剤が使用される。その製造工程は、パッターで加工薬剤を投入し、パッドスチーマーで加熱し、布や糸に繊維用仕上げ剤を含ませる。

撥水性を持たせるために、PFOS、PFOAを使用しているが、それに代わる樹脂の開発を行う。また、形態安定加工薬剤としてのグリオキザール樹脂及びメラミン-ホルムアルデヒド樹脂を開発している。グリオキザール樹脂は、尿素、ホルマリン、グリオキザールの付加反応により合成される。製品は水溶液状態であり、綿やポリエステルで使い分けをする。例として、USED加工ジーンズ用の色落ち防止として使用されている。

### 4. 建材用薬剤の開発

木材が天然繊維と同じセルロースであるという観点から、20年以上前より建材用薬剤を開発している。これまでに、建材で使用される接着剤やホルマリンキャッチャー剤を開発している。そのホルマリンキャッチャー剤は、シックハウスの原因の一つであるホルムアルデヒドを除去し、国内有名断熱材メーカー使用率100%のシェアを誇る。さらに、木材の寸法安定化技術により高機能国産材を開発できた。

### 5. マイクロカプセルの開発と応用

繊維仕上げ剤としてのマイクロカプセルは、乳化・in situ重合法により製造する。芳香マイクロカプセルにおいては芳香剤に分散剤を添加後、乳化し、これにプレポリマーを添加してマイクロカプセル化を行う。潜熱蓄熱マイクロカプセル開発のためには、凝固点降下が著しすぎる点を結晶核の検討やオイルの種類を変更することにより改善できた。メラミ

ンホルムアルデヒド樹脂を膜剤とした場合、さらに、ホルマリンキャッチャー剤を添加することにより、マイクロカプセルを複層化し、強固にすることができた。

お客さまのニーズによりマイクロカプセルを水分散型から粉末型への検討を行い、噴霧乾燥を採用した。

マイクロカプセルの粒子径を制御し、噴霧乾燥を行い、条件を検討することにより耐熱性を向上させ、過剰になるホルムアルデヒドに対しては、ホルムアルデヒドキャッチャー剤を添加することで解消した。

潜熱蓄熱マイクロカプセルにポリエチレンやポリプロピレンを混練し、マスターバッチを生成し、そのマスターバッチに樹脂を添加し、成型により潜熱蓄積材が得られる。

乾燥粉末でマイクロカプセルが得られたことにより様々な加工利用ができるようになった。潜熱蓄積材の例として、ポリスチレンシート、ポリウレタンシート、ポリエチレンメッシュ、ポリエチレンシートなどへの加工が可能である。

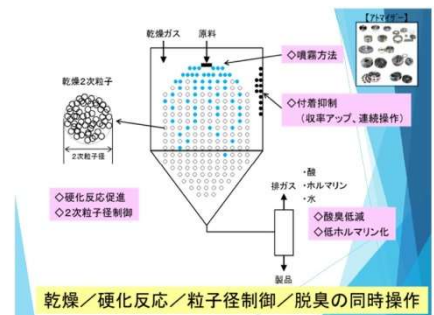


図 2：噴霧乾燥プロセス

## 6. 今後の取り組み

一般社団法人日本潜熱蓄熱建材協会に所属し、標準化部会、利用促進部会での活動を通じて、潜熱蓄熱建材としての課題解決のため、シュミレーションソフトの作成や分析のためのJIS規格の作成に携わり、マイクロカプセルの耐熱性、耐圧性向上への取り組みや製造過程での残留モノマーの削減、マイクロプラスチックへの対応を検討する。

## Q&A

- Q 噴霧乾燥で使用されるアトマイザーでディスクタイプを採用された理由は何か？  
サンプルを見るとプラスに帯電しているように思われるが、電荷のコントロールをされているのか？
- A アトマイザーのディスクタイプとノズルタイプのうちディスクタイプを選んだ理由は、マイクロカプセルの粒径が大きいことと制御がしやすい事がある。ポリエチレンとポリプロピレンを混合する際のニーズが大粒径であったため、そのまま継続してディスクタイプで取り組みをした。  
表面電荷の制御について、pHによる制御や添加物の調整によって行っている。後工程に応じて調整をすることがある。粉末にし始めたのは、最近になってからである。
- Q 残留モノマーの話がされたが、メラミンが分解してホルムアルデヒドが生成されるが、ホルマリンキャッチャー剤はどういうものなのか？アミン系であるか？
- A 基本的には、アミン系である。脂肪族アミンや尿素類縁体がある。
- Q カプセルをコアの外へ成長させる場合と中へ成長させる場合がある。内側成長させる検討をしており、酢酸エチルやMEKを使用して水スラリーにするが、それらがどうしても残留する。中のコア材が、MEKや酢酸エチルに溶解し、どうしても外へ出てしまう。何か良い方法はないか？
- A 芳香カプセルの場合、特定のオイルと芳香成分を混合する事例がある。有効成分がオイルと馴染めば、芳香剤になり得る化学物質を取り込む事ができている。溶剤成分の分子量を大きくできれば溶出が抑えられる可能性がある。

(文責 橋本隆幸 監修 高岡直樹)