

アクリル樹脂(PMMA)のケミカルリサイクル技術と持続可能な社会の実現に向けた取り組み



Chemical Recycling of PMMA: Technologies and Strategies for a Sustainable Future

This study provides an overview of chemical recycling technology for acrylic resin (polymethyl methacrylate, PMMA) and recent efforts toward its societal implementation as a solution to plastic waste. Based on the unique characteristics and market trends of PMMA, the study highlights the efficiency and environmental benefits of a continuous depolymerization process jointly developed by Sumitomo Chemical and JSW, using a twin-screw extruder. Furthermore, it presents specific examples, including regional resource circulation projects and plans for global expansion to establish business models that support the transition to a sustainable society.

はじめに

本稿では、世界と日本におけるプラスチック問題の現状を概観し、アクリル樹脂（PMMA）の市場動向とリサイクル技術の進展について詳述する。また、当社が推進するPMMAケミカルリサイクルの実証事業や社会実装の取り組みについても触れ、持続可能な資源循環型社会の実現に向けた課題と展望を提示する。

世界と日本のプラスチック生産量および廃棄物問題の現状と課題

2019年時点では、世界では年間約4.6億トンのプラスチックが生産され、今後も新興国を中心に生産が増加することが予想される（Fig. 1）¹⁾。一方、廃棄物発生量は約3.5億トンに達し（Fig. 2）¹⁾、その多くが埋め立てや焼却処分される。廃棄物の発生量は2050年に向けてさらに増加すると予想されている²⁾。

*現所属：住化ポリカーボネート株式会社

住友化学株式会社

エッセンシャル&グリーンマテリアルズ研究所

角 谷 英 則
安 富 陽 一
小 山 浩 士*

MMA事業部

山 崎 和 広

Sumitomo Chemical Co. Ltd.

Essential & Green Materials Research Laboratory

Hidenori KADOYA
Yoichi YASUTOMI
Koji KOYAMA

MMA Division Marketing Dept.

Kazuhiro YAMAZAKI

日本においては、プラスチック生産量（Fig. 3）が1997年から2007年頃は年間約1,400万トンで推移していたが、それ以降減少し、2022年には約950万トンとなつた³⁾。廃棄物処理量も減少傾向にあり、2021年には約800万トンとなっている⁴⁾。リサイクル率は約86%と高いが、そのほとんどがサーマルリカバリー（熱回収）であり、CO₂排出や有害物質の生成などの環境負荷が伴う。マテリアルリサイクルやケミカルリサイクルの技術開発は進められているが、リサイクルコストの高さ、リサイクル品の品質維持、効率的なリサイクルプロセスの確立など、技術的な課題が多い。分別収集の徹底や消費者意識の向上も重要で、リサイクルできるプラスチック廃棄物の適切な処理方法の普及が求められる。

大量生産・大量消費・大量廃棄の経済モデルは、資源枯渇や気候変動、廃棄物問題を引き起こし持続可能ではない。循環型経済への移行が必要であり、製品設計段階からリサイクルを考慮し、耐久性向上やリサイクル可能な材料の使用を推進することが重要である。

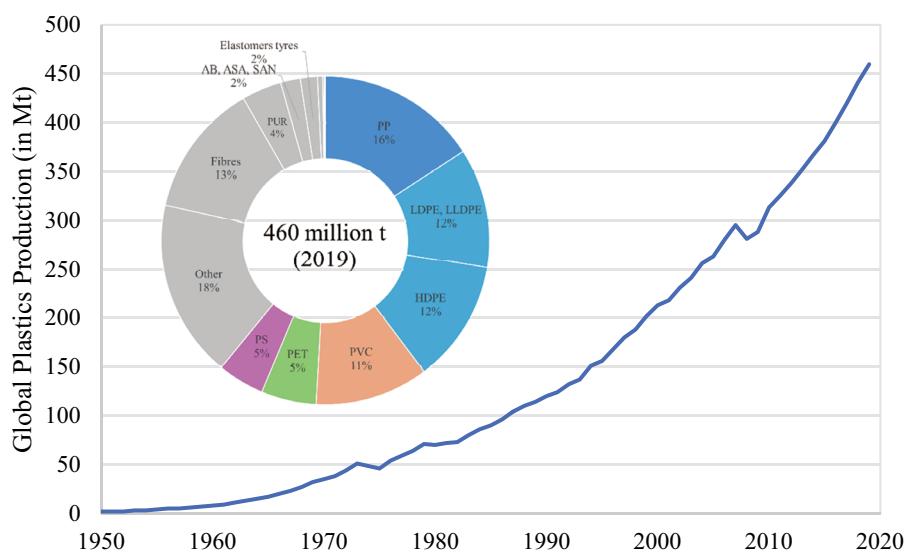


Fig. 1 Global plastic production weights by polymer type from 1950 to 2019 (in Mt)

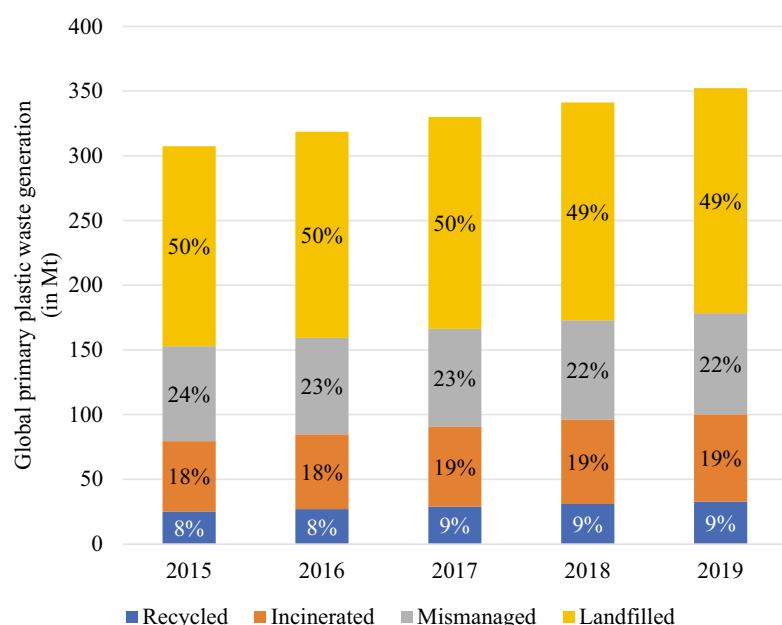


Fig. 2 Annual plastic waste by disposal method worldwide from 2015 to 2019

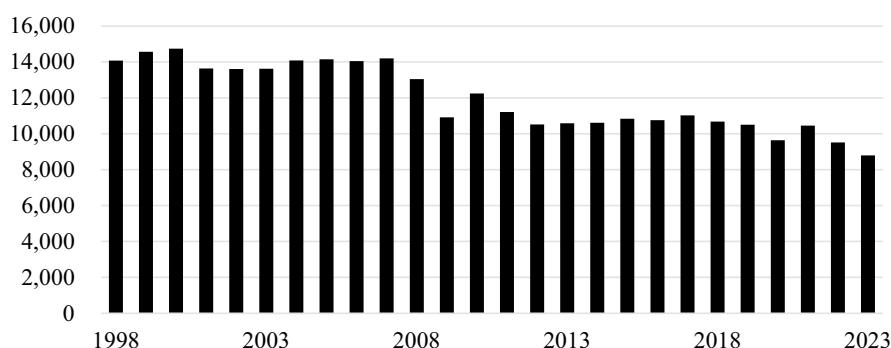


Fig. 3 Domestic production of plastic raw materials (in kt)

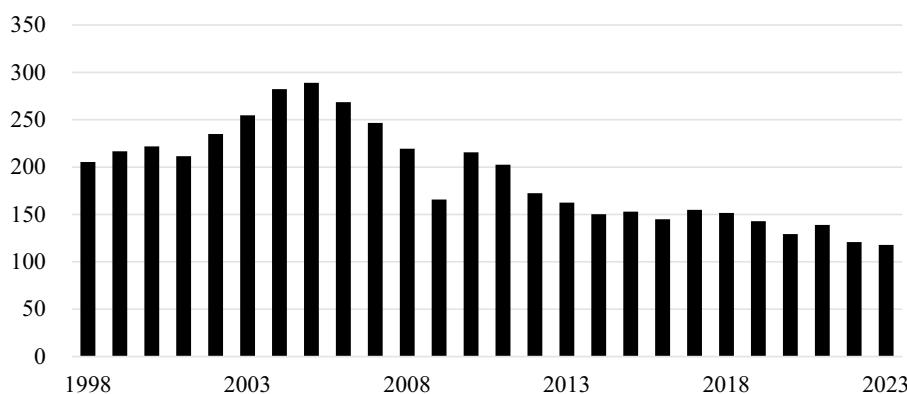


Fig. 4 Domestic production of PMMA (in kt)

日本ではプラスチック資源循環促進法が施行され、企業や自治体が一体となり循環型社会の実現に向けた取り組みが進められている。

アクリル樹脂（PMMA）の環境と市場動向

PMMAは高い透明性や屋外使用時の耐候性など、多くの優れた特性を有する。これらの特性により、液晶ディスプレー導光板、自動車ランプカバー、看板、飛沫感染防止パーテーション、キャラクターグッズのアクリルスタンドなど多岐にわたる用途で広く使用されている。

PMMAの国内生産量（Fig. 4）は2005年にピークを迎える年間約29万トンに達した。しかし、減少傾向が続き、2022年には年間約12万トンまで減少している³⁾。一方、海外市場では特に中国を中心にPMMAの需要が堅調に推移しており、2027年には2015年に比べて約100万トン増加し、年間約300万トンに達すると予想されている⁵⁾。

自動車用途においては、リアランプカバーやスピードメーターカバー、バイザーにPMMAが使用されており、2021年の四輪車国内生産台数約785万台⁶⁾から計算すると、1台あたり平均約3 kgのPMMAが使用されている。自動車産業では、軽量化とデザイン性の向上が求められており、PMMAの特性がこれらの要件に適しているため、需要が高まっている。

さらに、環境意識の高まりにより、リサイクル可能な材料としてのPMMAの価値が見直されている。

PMMAのリサイクル技術と取り組み

1. リサイクル技術の概要

一般的にプラスチックのリサイクルには、マテリアルリサイクルとケミカルリサイクルの二つのアプローチがある。

マテリアルリサイクルとは、使用済みプラスチックを溶融・再成形することで、再び素材として利用する

リサイクル方法である。この手法は、使用済みプラスチックを、プラスチックのまま原料として再利用することでプラスチック生産にかかるエネルギーを削減できる。しかし、廃プラスチックの品質などに製品品質が大きく依存され、適用可能な範囲が制限される場合がある。

ケミカルリサイクルとは、使用済みプラスチックを化学的に分解し、原料となるモノマーや化学物質に戻すリサイクル方法である。この手法は、得られたモノマーをプラスチックの合成原料に利用することで、品質を維持した再利用が可能となる点が特長である。ケミカルリサイクルは、マテリアルリサイクルで課題となる品質維持や異種材料の混入を克服する手段として注目されている。

PMMAには溶融加工が可能な成形材料と、溶融加工できない注型材料があり、マテリアルリサイクルは成形材料にのみ適用できるが、ケミカルリサイクルは成形材料、注型材料いずれにも適用可能である。

2. PMMAのマテリアルリサイクル

PMMA製品製造時の廃棄物や余剰資材（PIR : Post Industrial Recycled）のマテリアルリサイクル技術の開発が進められている。住友化学グループの住化アクリル販売株式会社では、工場から排出されるPMMA廃材をマテリアルリサイクルしたアクリルシートを製造しており、2023年1月より、このリサイクルアクリルシートをSUMIKA ACRYL SHEETTM MeguriTMとして販売している。このリサイクルアクリルシートは、バージン材料と比較して環境負荷を低減できるため、環境意識の高い企業や消費者での需要が高まっている。

一方、消費者が使用後に廃棄したPMMA製品を回収した材料（PCR : Post Consumer Recycled）は、成形材料と注型材料が混在していることが多く、マテリアルリサイクルには適していない。成形材料と注型材料を目視で区別することが難しく、これらが混在するとマテリアルリサイクル品の品質低下を引き起こす。

このため、日本国内ではPCR材を用いたマテリアルリサイクルはほとんど進んでおらず、多くの廃PMMAが単純焼却されるか、他の素材と混合して元の製品よりも価値を下げて製品化するダウンサイクルによりリサイクルが行われていた。

3. PMMAのケミカルリサイクル

PMMAはポリマー材料の中でもケミカルリサイクルに最適な分解特性を持つ。PMMAの分解は、ポリマー鎖の末端から順番にMMAモノマーが脱離していく分

解メカニズム（Fig. 5a）に従う。このメカニズムは、PMMAの重合反応と解重合反応が平衡反応であり、高温になると、吸熱反応である解重合反応⁷⁾が優勢となり、90%以上の非常に高いモノマー変換率が得られる（Fig. 6）。一方、他の付加重合ポリマーでは解重合反応の他にバックバイティングとよばれる副反応が起こり、分解の副生物としてオリゴマーを不可逆的に生成するため（Fig. 5b）、モノマー収率が低くなる。

PMMAの熱分解反応は、ラジカルを介して進行する（Fig. 7）⁸⁾。

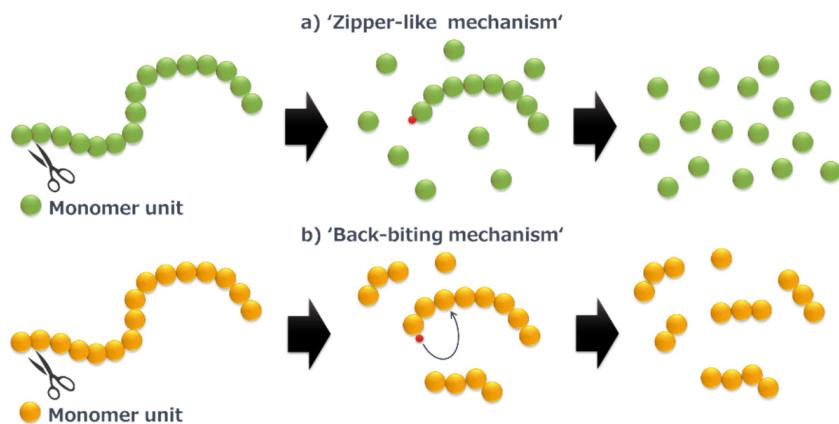


Fig. 5 Polymer decomposition mechanisms: a) Zipper-like mechanism, b) Back-biting mechanism

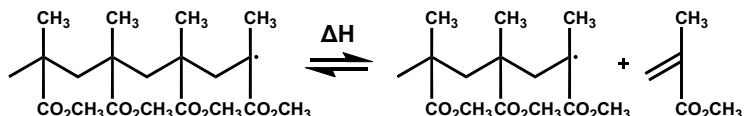


Fig. 6 Equilibrium between polymerization and depolymerization reactions of PMMA (propagating) radical

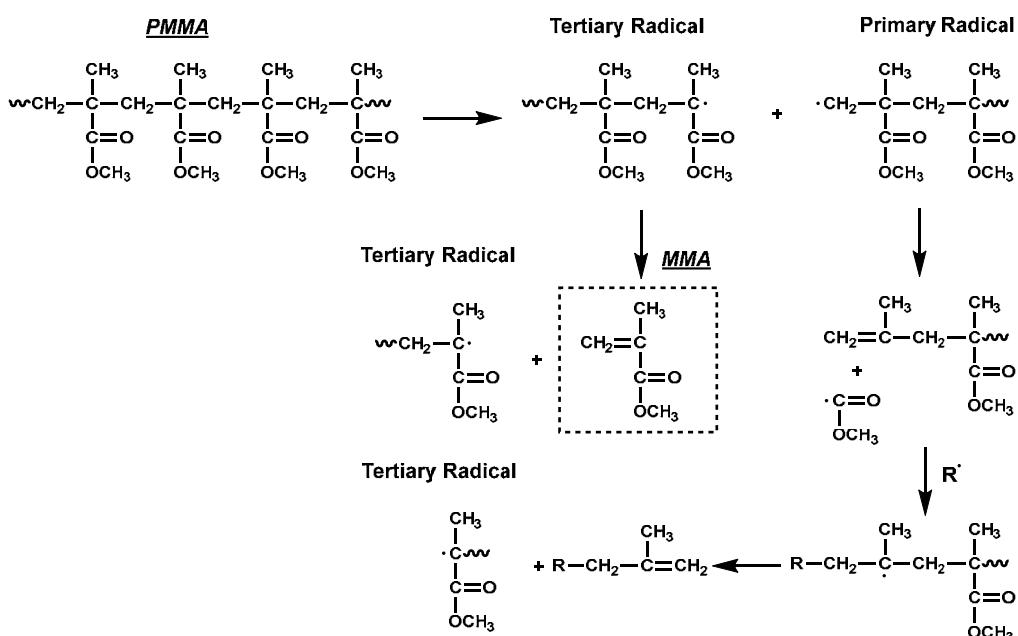


Fig. 7 Mechanism of thermal degradation in PMMA

1) ランダム切断 (Random Scission)

PMMAは約400 °Cでホモリティック結合解離により、分子鎖がランダムに切断される。

この過程で、1級ラジカル (Primary Radical) と3級ラジカル (Tertiary Radical) が生成される。

2) アンジッピング (Unzipping)

ランダム切断で生成した3級ラジカルはアンジッピングと呼ばれる解重合反応を起こし、モノマー (MMA) を生成する。MMAを生成する過程で、ポリマー末端に新しい3級ラジカルが生成され、連鎖的に分解反応が進行する。

3) メタアリル末端生成

1級ラジカルは、カルボン酸メチルエステル基の脱離によりメタアリル (Methallyl) 末端種を形成する。

メタアリル末端のさらなる脱離反応により3級ラジカルを形成、連鎖的なMMA離脱反応へと進む。

4. PMMAの熱分解プロセス技術

熱分解を用いたリサイクルプロセスは、生産性や消費エネルギー量、得られる再生MMAモノマーの品質、環境負荷に大きな影響を与えるため、古くから化学メーカー各社が研究開発を行ってきた。それぞれに

ついて詳しく説明し、特徴と長所と短所をまとめている (Table 1)。

1) 乾留法

乾留法は、PMMAの熱分解プロセスにおける最も初期の技術の一つとして知られている。この方法は1935年にDuPont社によって特許化¹⁰⁾され、PMMAを分解釜に入れ、直火で分解温度に達するまで加熱することでモノマーを回収するプロセスである。一時は最も一般的な方法となったが、最近は環境汚染の懸念からこの方法の採用は減少している。

特長

- ・シンプルなプロセス：分解釜を使用して加熱し、分解生成物を蒸留するというシンプルな設計。
- ・モノマーの回収：分解生成物の蒸留により、MMAモノマーを回収することが可能。

課題

- ・温度の不均一性：直火加熱による温度分布の不均一性が分解効率に悪影響を与える。
- ・残渣のスケーリング：分解生成物の残渣が分解釜内に蓄積し、効率を低下させる。
- ・収率の限界：乾留法ではモノマー収率が最新の技術と比較して低い傾向にある。

Table 1 Comparison of chemical recycling technologies for PMMA

Technology	Features	Advantages	Challenges
Pyrolysis Distillation Method	PMMA is placed in a distillation flask and heated directly until decomposition temperature is reached.	<ul style="list-style-type: none"> - Simple process design - Enables monomer recovery 	<ul style="list-style-type: none"> - Uneven temperature distribution affects decomposition efficiency - Residue accumulation reduces efficiency - Lower monomer yield compared to modern technologies
Molten Metal (Salt) Method	Uses molten metals such as lead or tin as a heating medium to efficiently decompose PMMA.	<ul style="list-style-type: none"> - High heat transfer efficiency enables rapid decomposition - Uniform temperature distribution enhances efficiency 	<ul style="list-style-type: none"> - Impurities from molten metals may contaminate the product - Environmental impact due to handling molten metals - High operational costs for metal reuse and disposal
Fluidized Bed Method	Utilizes a fluidized particle bed to uniformly heat and decompose PMMA.	<ul style="list-style-type: none"> - High monomer yield - Suppresses by-products through uniform thermal decomposition - Suitable for large-scale recycling processes 	<ul style="list-style-type: none"> - Requires high temperatures, leading to high energy consumption - Complex management of particle size and density - High initial equipment investment
Conical Spouted Bed Reactor (CSBR)	Employs a conical reactor design for efficient particle circulation and low-temperature decomposition.	<ul style="list-style-type: none"> - Allows decomposition at relatively low temperatures (400–550 °C) - Efficient particle circulation optimizes heat and material transfer - Suppresses by-product generation 	<ul style="list-style-type: none"> - Requires optimization of reactor design and operating conditions, increasing operational costs - Difficult to scale up for large-scale processing
Microwave Heating Method	Uses microwaves to directly heat PMMA for efficient decomposition.	<ul style="list-style-type: none"> - Enables rapid heating, reducing process time - High energy efficiency - Uniform heating suppresses by-product formation 	<ul style="list-style-type: none"> - Limited implementation in large-scale operations - Challenges in microwave equipment design and operational costs
Twin-Screw Extruder Method	Continuously decomposes PMMA using a twin-screw extruder to recover high-purity monomers.	<ul style="list-style-type: none"> - Enables stable continuous operation with high productivity - Self-cleaning function prevents residue buildup - Uniform heating prevents overheating, ensuring high-purity monomer recovery 	<ul style="list-style-type: none"> - High initial equipment cost - Reducing unreacted residue

2) 溶融金属（塩）法⁹⁾

溶融金属（塩）法は、分解釜に加熱媒体として鉛（融点327 °C）やスズ（融点232 °C）などの溶融金属を使用し、それらをPMMAの熱分解温度以上に加熱し、PMMAを効率的に分解し、モノマーとして回収するプロセスである。

特徴

- ・迅速な熱伝達：溶融金属の高い熱伝導率により、PMMAの迅速な分解が可能となる。
- ・温度の均一性：溶融金属浴内では温度が均一に保たれるため、分解効率が向上する。

課題

- ・金属汚染：溶融金属に由来する不純物が生成物に混入する可能性がある。

3) 流動床（砂浴）法⁹⁾

流動床法は、PMMAの熱分解において最も広く研究されているプロセスの一つであり、高いMMA収率（98 wt.%）が得られる効率的な技術である。窒素などの不活性ガスや熱分解されたモノマー蒸気を流動媒体として、流動化したアルミナや砂などの粒子を加熱媒体として用いて、PMMAを熱分解し、モノマーとして回収するプロセスである。

特徴

- ・均一な熱分解：流動床反応器は、粒子の流動化によって均一な温度分布を提供し、PMMAの効率的な分解を可能にする。
- ・高収率：文献⁹⁾では、流動床反応器を用いた熱分解により、MMA収率が98 wt.%に達することが示されている。
- ・副生成物の抑制：流動床内での迅速な熱伝達により、2次反応が抑制され、副生成物の生成が最小限に抑えられる。

課題

- ・高温条件：流動床反応器では、～700 °Cの高温が必要となる。
- ・粒子の管理：流動化に必要な粒子サイズや密度の制御が重要であり、これが運転の複雑さを増加させる。

PMMAケミカルリサイクル：当社の取り組み

1. 技術の特長

当社は、株式会社日本製鋼所（本社：東京都品川区、以下JSW）と共同で、PMMAのケミカルリサイクル技術を開発している。この技術は、JSWの二軸押出機を利用した連続分解技術¹¹⁾と、当社のMMAモノマーおよびPMMAの知見を融合させたものであり、共同で技術開発を進めている。これにより、使用済みPMMAを効率的に分解し、高品質な再生MMAモノ

マーを回収することが可能となる。

- 1) 連続分解プロセス：JSWの押出機方式では、回収PMMAが連続的に二軸押出機に供給され、解重合が行われ、効率的にモノマーが回収される。連続プロセスにより、安定した供給と高い生産性が確保され、効率的なリサイクルが実現する。
- 2) セルフクリーニング機構：JSWの同方向回転二軸スクリューを用いることで、残留物を効率的に排出し、蓄積を防ぎながら、連続運転が可能。この仕組みにより、メンテナンスの頻度が減少し、運転効率が向上する。
- 3) 均一加熱と高純度回収：二軸スクリューによって回収PMMAが均一に加熱され、過剰加熱を防止できる。滞留時間が短いため、不純物の生成が抑えられ、高純度のモノマーを回収可能である。

2. 実証設備の設置と研究開発

2022年12月、愛媛工場（愛媛県新居浜市）に押出機方式を採用したPMMAケミカルリサイクル実証設備（Fig. 8）を新設し、稼働を開始した。この設備を用いて、早期の社会実装に向けた研究開発を加速している。この取り組みは、環境省の「二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金 脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業」として推進された。

この実証設備では、実際の運転条件下での技術検証を行い、リサイクルプロセスの最適化やスケールアップに向けた重要なステップを踏むことが可能となる。また、持続可能な資源循環型社会の醸成を推進する取り組みとして、静脈から動脈に関わる賛同企業とともにセキュラなサプライチェーン全体で実証事業を継続している。



Fig. 8 Sumitomo Chemical PMMA chemical recycling demonstration facility

3. PMMAケミカルリサイクル実証事業の内容

当社は持続可能な資源循環型社会の実現に向けて、PMMAケミカルの実証事業を推進している。この実証事業では、以下の四つの目的を設定している：

1. 回収PMMAの品質確保と調達スキームの確立
2. 高効率かつCO₂排出削減に寄与する熱分解プロセスの確立
3. 再生MMAモノマーを用いた再生PMMAの安定生産と品質保証
4. 再生PMMAの価値証明と資源循環社会への貢献度の定量化

これらの目標を達成するために、回収PMMAの調達から再生MMAモノマーの生成、さらに再生PMMAの用途展開まで、サプライチェーン全体を考慮して取り組んでいる。これにより、PMMAのリサイクルプロセスを包括的に最適化し、持続可能な社会の実現に向けた具体的なステップを踏み出している。

3.1 回収PMMAの品質確保と調達スキーム

回収されたPMMAの品質は、再生されるMMAモノマーの品質やCO₂排出量に直接影響を与える。回収PMMA中に異物が混入すると、熱分解プロセスが効率的に進まず、不純物が増加し、結果としてCO₂排出量が増加するリスクがある。特にメチルメタクリレート・ステレン共重合体（MS樹脂）やポリカーボネート樹脂は、PMMAと類似した物性を持ち、同じ用途で使用されることが多いため、消費者がこれらを判別するのは難しい。そのため、混在するリスクが高い。

当社は地方自治体やリサイクル業者、選別技術を持つ企業と連携し、分別回収・選別を含むPOC（Proof of Concept）を実施している。加えて、従来困難とされてきたPMMAの成形材料と注型材料の選別技術を開発している。これにより、回収PMMAの品質確保と調達スキームの確立に向けた取り組みを強化している。さらに、製品のモノマテリアル化や分別回収を容

易にする設計変更など、周辺技術の開発も進めることで、リサイクルプロセス全体の効率を向上させ、環境負荷を低減できる。

3.2 高効率かつCO₂排出削減に寄与する熱分解プロセス

当社はJSWと協力し、二軸押出機を使用した高効率な熱分解技術の確立を進めており、押出機構成の最適化を実施し、従来樹脂加工のための装置である二軸押出機を、シリンダー、ヒーター、ガス排出口、未分解残渣排出口、およびスクリュー構成を熱分解プロセスに適合する形で最適化している。熱分解条件については、回収PMMAの種類に応じたシリンダー温度、スクリュー回転数、供給速度などの条件を精査し、モノマー収率向上と不純物低減の検討を行っている。

また、モノマーの使用用途に応じて目標とするモノマー品質を設定し、その品質に基づき精製条件を調整することで、モノマー収率の向上、エネルギー効率を高めている。

さらに、現在は未分解残渣排出機構の最適化により、未分解残渣の発生量を削減する取り組みを強化している。

樹脂選別技術の確立、押出機構成の最適化、熱分解条件の最適化、精製条件の最適化の四つの要素技術の組み合わせにより、当社のプロセスで得られる精製MMAモノマーの収率は、従来技術による精製MMAモノマー回収率（当社試算）より約20%向上が達成できる（Fig. 9）。

従来のPMMAと同等の品質を維持しつつ、ケミカルリサイクルでモノマーを製造することで削減されるCO₂排出量と、廃棄物を焼却処分せずにリサイクルにすることで削減されるCO₂排出量により、製品ライフサイクル全体のCO₂排出量を約50%削減できる（Fig. 10）。この技術は、環境負荷を大幅に低減し、持続可能な社会の実現に寄与するものである。

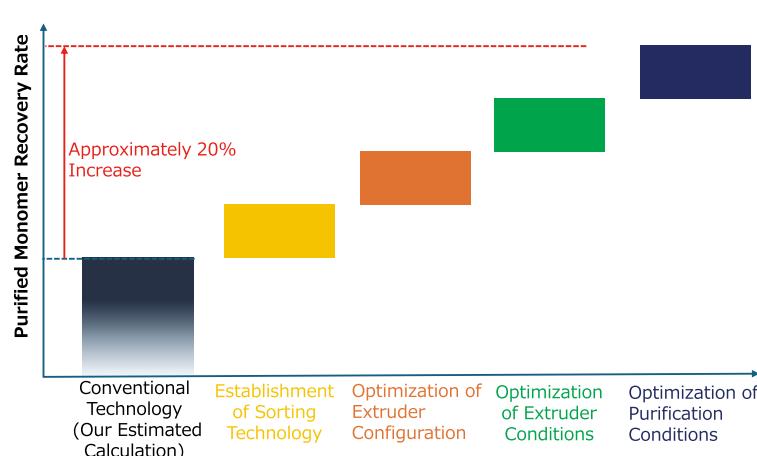


Fig. 9 Sumitomo Chemical PMMA chemical recycling demonstration facility (conceptual image)

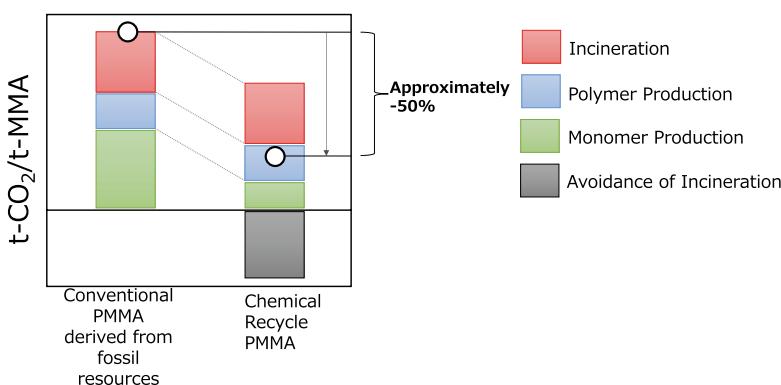


Fig. 10 CO₂ reduction effect through PMMA chemical recycling (conceptual image)

3.3 再生MMAモノマーを用いた再生PMMAの生産と品質

当社のPMMAケミカルリサイクル実証設備で得られた再生MMAモノマーは、従来の化石資源由来のMMAモノマーと同様の品質を確認し、同様に使用可能である（Fig. 11）。再生MMAモノマーを使用した

注型重合材料や成形材料を製造し、光学特性、熱的性質、機械強度について従来品と同等の品質を確認している（Table 2、Fig. 12）。自動車のランプカバーなど、液晶ディスプレーの導光板など、品質に対する要求が厳格な顧客からも高評価を得ている。

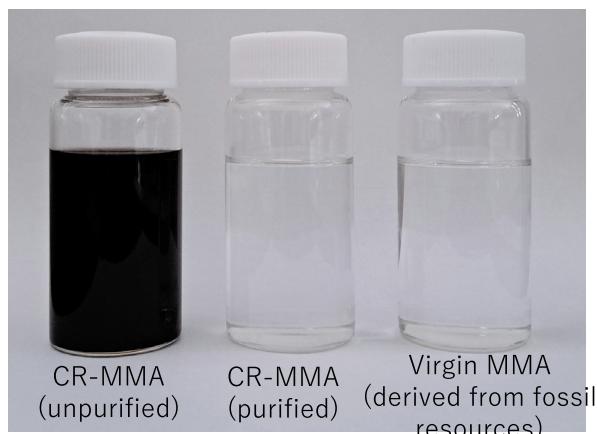


Fig. 11 Photographs of recycled monomers (before and after purification) and virgin monomers

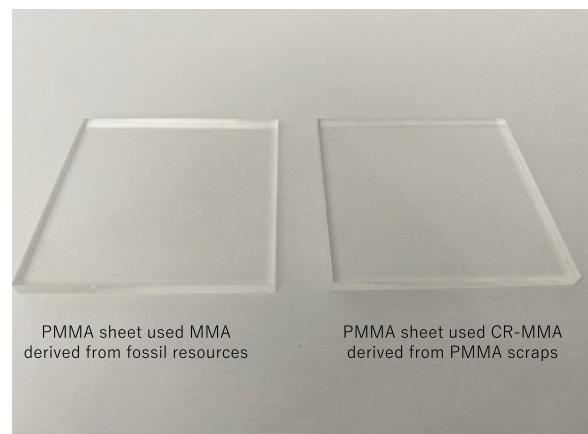


Fig. 12 Images of recycled cast sheet and fossil-derived cast sheet

Table 2 Performance comparison between CR-PMMA and Conventional PMMA

Item	Test Method	Unit	Conventional PMMA	CR-PMMA
Melt Flow Rate (MFR)	ISO 1133	g/10min	2.1	2.2
Vicat softening temperature (VST)	ISO 306	°C	109	109
Deflection Temperature Under Load	ISO 75-2	°C	100	100
Tensile Strength at break	ISO 527-2	MPa	79	79
Tensile Strain at break		%	5	5
Flexural Modulus	ISO 178	MPa	3,300	3,300
Flexural Strength		MPa	136	132
Charpy Impact Strength(notched)	ISO 179-1	kJ/m ²	1.4	1.3
Total light transmission	ISO 13468-1	%	92.4	92.5
Haze	ISO 14782	%	0.5	0.5
YI	ISO 17223	-	0.4	0.4
Density	Water displacement	g/cm ³	1.19	1.19

3.4 再生PMMAの価値証明と資源循環社会への貢献度の定量化

再生PMMAを社会に広めるためには、環境負荷低減の価値をサプライチェーン全体で共有することが重要である。国際的なサステナビリティ認証システムの取得やその認証製品の提供を推進することで、さまざまなステークホルダーとともに、持続可能な社会の実現に向けて取り組んでいる。

また、一般消費者との価値共有には製品のブランディングも有効である。当社は炭素資源循環技術を適用した製品に「Meguri™」ブランドを付けてマーケティング活動を展開している。

「Meguri™」ブランドは、炭素資源の循環を象徴するものであり、消費者に対して持続可能な製品の選択肢を提供する。これにより、消費者が環境に配慮した製品を選べ、持続可能な社会の実現に寄与できる。また、企業としても環境負荷を低減する取り組みを進めることで、社会的責任を果たし、企業価値を向上させることができる。

このように、再生PMMAの価値証明と社会実装は、環境保護と経済活動の両立を実現するための重要なステップである。

4. グローバル展開の計画

2024年5月、米国の大手技術ライセンサーであるLummus Technologyとの協業を発表した。これにより、当社のPMMAケミカルリサイクル技術の社会実装をグローバルに加速することを計画している。Lummus Technologyは、化学プロセス技術の分野で豊富な経験

と実績を持ち、グローバルなネットワークを有している。協業により、当社のケミカルリサイクル技術を世界各地に展開し、持続可能なリサイクルソリューションを提供することが可能となる。具体的には、各地域のニーズに応じたリサイクルプラントの設計・建設・運用を支援し、リサイクル技術の普及と市場拡大を図る。

採用事例・共同取り組み

1. 住友化学、新居浜市でのMICAN（みかん）プロジェクト

当社と愛媛県新居浜市は、PMMA製飛沫防止板の地域内資源循環プロジェクト「MICAN」((M) みんなで (I) いっしょに (C) サーキュラー (A) アクション (N) にいはま)を2023年7月に発表した。このプロジェクトは、事業者、市民、自治体が一体となり、循環型社会の実現を目指すサーキュラーアクションを推進するものである。PMMA製飛沫防止板は新型コロナウイルス感染症対策として広く使用されていたが、2023年5月8日に新型コロナウイルス感染症が5類感染症に移行したこと、使用済み飛沫防止板の処理や保管が新たな課題となっている。「MICAN」では、当社愛媛工場（愛媛県新居浜市）にあるPMMAケミカルリサイクル実証設備を活用し、地域内での資源の有効活用を推進している。この取り組みにより、使用済み飛沫防止板を効率的に回収・リサイクルし、地域内の小学校に記念品とキーホルダーを配布することで、地域住民の環境意識を高め、持続可能な社会の実現に向けた具体的な行動を促進することを目指している（Fig. 13）。

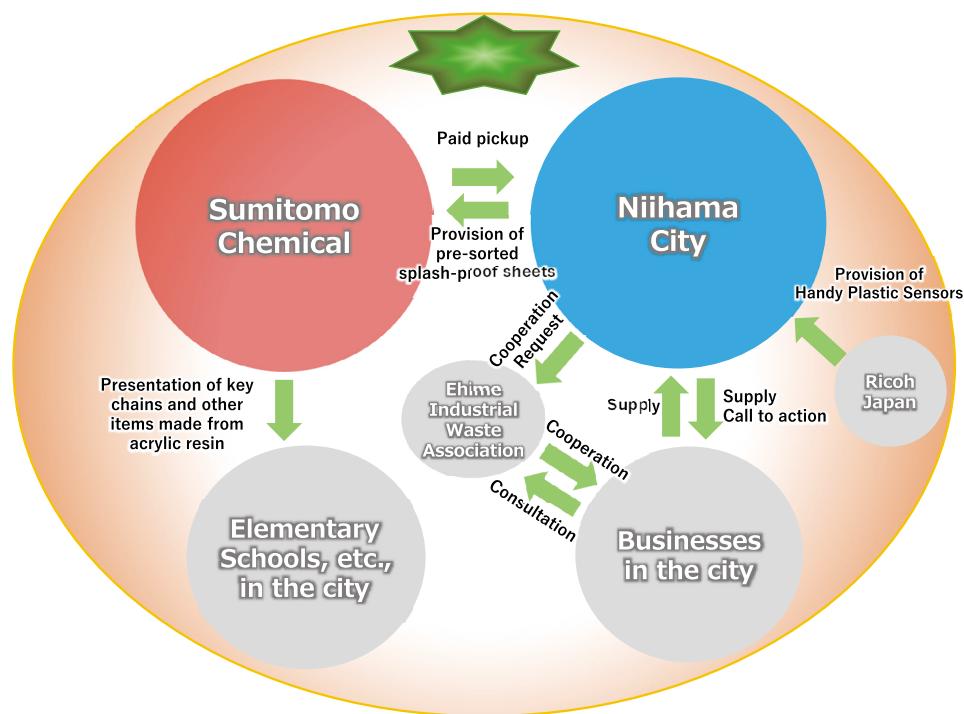


Fig. 13 Overview diagram of the MICAN Project

この取り組みが高く評価され、一般社団法人日本化学工業協会より、第19回レスポンシブル・ケア賞の「RC審査員特別賞」を受賞した。

2. ケミカルリサイクル技術によって得られたMMAモノマーの採用事例

当社は、株式会社スタージュエリーの100%再生原料で制作されているアクリルジュエリー向けに、ケミカルリサイクル技術によって得られたサステナブルなMMAモノマーを提供している（Fig. 14）。この取り組みは、サステナブルな素材を使用したジュエリーの開発と販売により、環境への負荷を低減しつつ、一般消費者にリサイクルの価値を提供し、実際に体感できる。

3. ケミカルリサイクル技術によって得られたPMMA材料の採用事例

当社は、ケミカルリサイクルで得られたMMAモノマーを原料としたポリマー材料PMMAの販売を開始する。韓国のLG Display社および日産自動車株式会社



Fig. 14 Practical examples of chemically recycled MMA monomers provided by Star Jewelry

での採用が決定しており、業界に先駆けてMMAのサプライチェーンにおけるケミカルリサイクルの社会実装を加速させる。

今回の販売は、原料品質の安定化、工程管理項目の確立など多くの技術的課題をクリアして、当社として初めて量産設備で生産されたPMMAを、電機や自動車など高い品質が要求される用途に提供するものである。具体的には、液晶ディスプレーのバックライトユニットに使用される導光板の原料としてLG Display社向けに、また、ヘッドライトに使用されるレンズの原料として日産自動車株式会社向けに販売を開始する。

4. マテリアルリサイクル技術を活用したリサイクルアクリルシートの採用事例

当社の子会社である住化アクリル販売株式会社は、マテリアルリサイクル技術を活用して製造したアクリルシート「SUMIKA ACRYL SHEET™ Meguri™」を、照明専業メーカーのコイズミ照明株式会社に提供している（Fig. 15）。さらに、コイズミ照明に対してMeguri™マークの使用を許諾し、一般消費者がリサイクルの価値を認識できる取り組みを進めている。

このように、当社はさまざまな分野でケミカルリサイクル技術およびマテリアルリサイクル技術を活用し、持続可能な社会の実現に向けた具体的な取り組みを進めている。再生材料の品質と市場価値を証明し、環境負荷の低減と経済活動の両立を目指している。

PMMAケミカルリサイクルの未来

1. 技術革新の重要性

ケミカルリサイクルにおける技術革新は、持続可能な社会の実現に向けた重要な鍵となる。この技術の進展により、従来の廃棄物処理と比較して環境負荷を大幅に低減し、資源の有効利用を促進することが可能となる。効率的で環境負荷の少ないリサイクルプロセス



Fig. 15 Practical examples of "SUMIKA ACRYL SHEET™ Meguri™" provided by Koizumi Lighting

が開発されれば、廃棄物問題の解決と循環型経済の構築に大きく貢献することが期待される。例えば、AIを活用した最適化技術により、リサイクルプロセス全体をリアルタイムで監視し、効率を最大化することが可能となる。また、再生材料の品質をリアルタイムでモニタリングする技術を導入することで、品質管理が徹底され、再生材料の信頼性が向上する。これにより、リサイクルされた材料が従来のバージン材料と同等の性能を持つことが保証され、リサイクル製品の市場価値が高まる。さらに、分解プロセスの温度制御やエネルギー効率の向上を図る新しい技術の開発も重要である。これらの技術革新により、エネルギー消費を抑えつつ、高品質な再生材料を安定的に供給することが可能となる。加えて、運用コストの削減や環境負荷のさらなる低減にも寄与する。

PMMAはその分解特性からケミカルリサイクルに非常に適しており、技術革新の実証対象としての価値を持つ。PMMAのケミカルリサイクル技術が進展することで、プラスチック全体のケミカルリサイクル技術に波及し、持続可能な社会の実現に向けた重要な一歩となると期待している。

2. グローバルな連携

PMMAケミカルリサイクルの普及には、グローバルな連携が不可欠である。各国の規制や市場のニーズに対応しながら、技術の標準化を進めることで、世界中で一貫したリサイクルプロセスが実現できる。また、国際的な協力を通じて、技術の共有や人材育成を進めることも重要である。具体的には、国際会議やワーキングショップを通じて最新の技術情報を共有し、各国の専門家が協力して技術開発を進めることが求められる。また、先進国と新興国との間で技術移転を進めることで、グローバルなリサイクルネットワークを構築し、リサイクルプロセスの効率化とコスト削減を図れる。さらに、国際的な規制の調和を図ることで、各国間のリサイクル材料の流通を円滑にし、グローバルなリサイクル市場の拡大を促進することが重要である。

3. 持続可能なビジネスモデルの構築

PMMAケミカルリサイクルを持続可能なビジネスモデルとして確立するためには、経済的な利益と環境保護の両立が求められる。再生材料の市場価値を高めるためのブランディングや、消費者への啓発活動を通じて、持続可能な製品の需要を喚起することが重要である。具体的には、行政などがリサイクル材料を使用することに対するインセンティブを提供する政策を導入することで、リサイクル材料の使用を促進できる。さらに、リサイクルプロセスの効率化やコスト削減を図ることで、経済的な競争力を維持することが求められ

る。例えば、リサイクル設備の自動化やエネルギー効率の向上を図ることで、コストを削減し、リサイクル材料の価格競争力を高められる。また、リサイクルプロセス全体の最適化を図るために、サプライチェーン全体での協力体制を強化し、効率的な資源循環を実現することが重要である。

このように、技術革新、グローバルな連携、持続可能なビジネスモデルの構築を通じて、PMMAケミカルリサイクルの未来を切り拓ける。持続可能な社会の実現に向けた具体的な取り組みが進展し、環境保護と経済成長の両立が可能となる。

おわりに

当社は、完成させたPMMAケミカルリサイクル実証設備を用いて、商業化に向けた技術検証や社会実装に向けた実証事業を推進している。さらに、製品へのブランディングを活用してマーケティング活動を展開している。環境負荷の低減は当社経営として取り組むべき重要課題の一つであり、これからもグループ全体で「Meguri™」の製品ラインアップを拡充し、循環型社会の実現に貢献していく。

石油化学産業の発展を支えてきた化学会社として、炭素使用量の削減やカーボンニュートラル（ネットゼロ）の実現に向けた技術開発に取り組み、2050年のカーボンニュートラル社会の実現に向けてソリューションを提供することが当社の重要な役割であると認識している。資源循環型社会への移行を目指し、一定の豊かさを享受しながらも、持続可能な生産と消費を実現するための技術開発をこれからも進めていく。

引用文献

- 1) H. Ritchie *et al.*, "Plastic Pollution", <https://ourworldindata.org/plastic-pollution> (参照2025/6/30).
- 2) (株)廃棄物工学研究所, "報道関係者各位(環境問題研究会、環境記者会配布資料)プレスリリース", 世界の廃棄物発生量の推計と将来予測 2020改訂, <http://www.riswme.co.jp/cgi-image/news/52/file2.pdf> (参照2025/5/1).
- 3) 日本プラスチック工業連盟, "統計資料" 年次資料 プラスチック原材料・製品の生産、販売実績, https://www.jpif.gr.jp/statistics/doc/annual-document-sale_2023-1117_v02.xlsx (参照2025/5/1).
- 4) (一財)プラスチック循環利用協会, "2022年12月掲載 2021年廃プラスチック総排出量は824万t、有効利用率は87% プラスチック製品の生産・廃棄・再資源

- 化・処理処分の状況(マテリアルフロー図)を公表”,
<https://www.pwmi.or.jp/column/column-790/>
 (参照2025/5/1).
- 5) IHS CHEMICAL “Acrylic Resins and Plastics”
 Chemical Economics Handbook, Dec 2022(2022).
- 6) (一財)日本自動車工業会,“統計データ検索(Active Matrix DB)”, <https://www.jama.or.jp/statistics/>
 (参照2025/5/1).
- 7) W. Kaminsky and C. Eger, *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 58-59, 781(2001).
- 8) Z. Ahmad *ea al.*, *Polym. Degrad. Stab.*, 93(2), 456 (2008).
- 9) E. Esmizadeh *et al.*, “Handbook of Ecomaterials,” Springer Cham(2018), p.2977.
- 10) DuPont Viscoloid Company, US 2030901A(1936).
- 11) 小柳邦彦 ほか, 日本製鋼所技報, No.54, 153(1998).

PROFILE

角谷 英則 *Hidenori KADOYA*

住友化学株式会社
 エッセンシャル＆グリーンマテリアルズ
 研究所
 主席研究員

小山 浩士 *Koji KOYAMA*

住友化学株式会社
 エッセンシャル＆グリーンマテリアルズ
 研究所
 上席研究員
 (現所属:住化ポリカーボネート株式会社)

安富 陽一 *Yoichi YASUTOMI*

住友化学株式会社
 エッセンシャル＆グリーンマテリアルズ
 研究所

山崎 和広 *Kazuhiro YAMAZAKI*

住友化学株式会社
 MMA事業部
 主席部員