

# 化学ゲルにより実現するしなやかな製品 —おむつ・化粧品から塗料・電池・ロボットにも—

2022/5

三井物産戦略研究所  
技術・イノベーション情報部インダストリーイノベーション室  
小川玲奈

## Summary

- 化学ゲルは、主に化粧品やおむつなどのパーソナルケア用品などに利用されているマテリアルだが、今後は電池や断熱材用途においても重要度が増すと考えられる。
- 化学ゲルは、網目となる化学物質と、そこに内包する物質の組み合わせからなる複合材料で、それらの組み合わせによって単体の化学物質よりも幅広い機能を発揮させることができる。
- 化学ゲルの市場規模は2018年時点で118億ドル、平均成長率は2019年から2025年で6.5%になると予測されている。データベースの構築と人工知能（AI）の活用によって開発が加速しており、今後、重要な社会問題の解決に資するマテリアルとなり得る。

## 1. 化学ゲルとは

化学ゲルは、おむつや化粧品などのパーソナルケア製品、医療用途を中心に、日常生活において広く利用されてきたが、近年の技術革新によって、機能性コーティングや電池材料、ウェアラブルロボティクスなど、カーボンニュートラルやSDGs実現に資するキーマテリアルになると期待されている。本稿では、化学ゲルとは何か、といった基礎知識をはじめ、今後、社会実装が期待される用途やそれに向けた開発の展開について紹介する。

### 1-1. 化学ゲルと物理ゲル

図表1にゲルに関する分類および化学ゲル、物理ゲルのイメージ図を示す。ゲルとは、液体と微粒子が共にある状態（コロイド溶液）のうち、流動しないものを指し、身近な例としてはゼリーや豆腐などが挙げられる。これに対して流動するものはゾルと呼ばれる。ゼリーや豆腐は、弱い結合力によってできた物理ゲルであり、崩れやすい。豆腐を皿の上に置くと、時間が経つにつれて中に内包していた水などの液体が染み出てくる。これはゲルとしての結合力が弱いためである。一方、化学ゲルは、共有結合という物理ゲルよりも強い結合によって3次元（ジャングルジム状）の網目構造を形成しており、その構造を工夫することによって、内包する液体や、液体に溶け込んでいる成分をしっかりと閉じ込めたり、特定の環境に置かれた際に放出させたりできる。網目構造を形成する化学物質としては、分子量の大きい化合物であるポリマーが用いられる。

図表1 化学ゲルと物理ゲル



出所：各種資料より三井物産戦略研究所作成

### 1-2. 化学ゲルの作り方とその特徴

化学ゲルは、ポリマーに後から液体を含浸させる方法や、ゾルを共有結合によって固めるなどの方法で作られる。液体を吸収しても分解されることなく、膨張して液体を貯蔵することが可能であり、逆に乾燥などによって液体を抜くと収縮する。また、液体の抜き方を工夫することで、液体が抜けた後の空間を収縮させず、代わりに気体を充填した構造を作ることもできる。網目となる化学物質と、そこに出入りする液体の組み合わせによってできる複合材料として考えることで、単体として化学式で表される化学物質とは異なる機能を持たせることができる。

### 1-3. 様々な化学ゲル

化学ゲルには構成する物質によって様々な分類方法があるが、ここでは網目構造の中に入っているものによって分類されたゲルの名称と、製品の例を示す。

①ハイドロゲル：水を含んだゲルのこと。コンタクトレンズが代表例である。ソフトコンタクトレンズでは、水を含むことによって潤いを保ち、かつ酸素が透過する設計とすることでより目に優しい製品が実現されている。

②オルガノゲル：水以外の溶媒を含んだゲルのこと。化学ゲルで身近な例はないが、溶媒と水の両方を含むことからハイドロゲルともオルガノゲルともいえる例として、ジェル状の美容シートが挙げられる。網目構造によって形状を維持したシートに美容成分を含み、貼っている間はフィットし、はがすときには痛みを生じさせないバランスの取れた密着性を実現している。

③キセロゲル：液体を含んでいないゲルのこと。代表的なものに、おむつなどに使われている高吸水性樹脂（Superabsorbent Polymer：SAP）があり、製品として店頭に並んでいる時点では液体を含んでいない。SAPは水を吸収し、吸収した水分は漏れ出さないように固定させることができる。液体が酸性か、中性か、アルカリ性か、つまりpHの値によって吸収や固定のしやすさが異なるため、用途によって最適なSAPが設計、使用されている。

## 2. 化学ゲルの市場と今後重要度が増すと予想される用途

現在製造されている化学ゲルの大半は化粧品やおむつなどのパーソナルケア用途である。網目となるポリマーの種類としては、ポリアクリル酸が吸水材やコンタクトレンズとして用いられているほか、ポリビニルアルコールが保湿クリームやゼリー状のスキンケア製品などに用いられている。(米)Market Research Futureの試算によると、世界の化学ゲル市場規模は2018年時点で118億ドルであり、2019年から2025年間の年平均成長率は6.5%と予想されている<sup>1</sup>。以下に今後、重要度が増すと考えられる用途について示す。

### 2-1. 電池用途

高分子ゲル電解質は、電池の安全性を高める目的で、従来は液体だった電解質をゲルの中に閉じ込めた材料であり、スマートフォンなど電子機器の安全性向上に貢献している。網目となるポリマーとしては、主にフッ化ビニリデン系共重合体が使用されている。電解質との間で化学反応を起こすことなく、温度や圧力の変化があっても安定して電解質を閉じ込めることができるように設計、合成されている。

### 2-2. 断熱材用途

キセロゲルの一種であるシリカエアロゲルは、大きな空隙を持ち、かつ触媒効果がないことから石油・ガスパラントの揮発性有機化合物（VOC）吸着に採用されてきた。その名の通り、網目を形成する化合物はシリカ（別名二酸化ケイ素）であり、一般的には、溶媒を含んだシリカを高温高压の条件で乾燥させることで溶媒を気体に置換して製造される。大きな空隙を持つことで体積あたりの重量が軽く、優れた断熱性があるため、建築物や電気自動車、電化製品への応用が期待されている。

## 3. 高機能化によって検討が進む用途

従来の化学ゲルは、共有結合の位置を上手く制御できなかったため、機械強度を必要としない用途に限られていた。しかし、近年は共有結合の制御技術が進展したことで、強度が高くよく伸びるゲルを合成することが可能になった。また、化学ゲルには、温度、溶媒、水素イオン濃度、電圧などが一定の値を超えると体積が急激に変化する現象が発生することが知られているが、体積変化の条件や制御方法の知見が蓄積されてきたことで、駆動装置やセンサーといった機能性材料への応用検討が加速している。今後、化学

<sup>1</sup> 出所：[Global Polymer Gel Market](#)

ゲルの利用が期待される用途については図表2にまとめた。

図表2 今後化学ゲルの利用が期待される用途と関係するSDGs

用途(予想年)	ゲルの種類	利点/事例	リスク	関連するSDGs	市場ポテンシャル
自己治癒コンクリート (2027 <sup>注1</sup> )	キセロゲル	アルギン酸：低環境負荷 SAP (ポリアクリル酸ナトリウムなど)での検討例	PLA (ポリ乳酸)を使った別ソリューションが先行	11.住み続けられるまちづくりを 12. つくる責任つかう責任	3053億USD <sup>注1</sup>
耐腐食塗料 (2027 <sup>注2</sup> )	ハイドロゲル	(米) LiquiGlide などスタートアップによる開発進行中	既存の疎水性塗料メーカー NeverWet, NanoGate Technologies, 3M との競合	11.住み続けられるまちづくりを 12. つくる責任つかう責任	181億USD <sup>注2</sup>
(参考) コンタクトレンズ (2028 <sup>注3</sup> )	ハイドロゲル	アクリレート-シリロキサンハイドロゲルとシリコンハイドロゲルが独占	酸素透過と含水率、装着性のバランスに改善の余地	3. すべての人に健康と福祉を	126億USD <sup>注3</sup>
船底塗料 (2026 <sup>注4</sup> )	ハイドロゲル	(米) Repela などスタートアップによる開発	既存船底塗料メーカーとの競合	14. 海の豊かさを守ろう	102億USD <sup>注4</sup>
垂直農業 (2026 <sup>注5</sup> )	ハイドロゲル	(日)メビオールによる医療用ハイドロゲルの転用	フィルム不使用の農法(噴霧式等)との競合	2. 飢餓をゼロに	97億USD <sup>注5</sup>
抗菌コーティング (2026 <sup>注6</sup> )	ハイドロゲル オルガノゲル	(日)日本板硝子の銅含有膜	金属イオン系など先行マテリアルとの競合	3. すべての人に健康と福祉を	64億USD <sup>注6</sup>
リチウムイオン電池用電解質、 バインダ (2025 <sup>注7</sup> )	オルガノゲル	フッ化ビニリデン系、スチレンブタジエンゴム系で実績	グラフェン等新規技術の台頭可能性	7. エネルギーをみんなにそしてクリーンに	50億USD <sup>注7</sup>
ウェアラブルロボティクス (2029 <sup>注8</sup> -2032 <sup>注9</sup> )	オルガノゲル	(日)AssistMotionがポリ塩化ビニルゲルアクチュエータによるプロトタイプを作製	金属系素材の薄膜、高機能化	3. すべての人に健康と福祉を	40億USD (2032 <sup>注8</sup> ) 120億USD (2029 <sup>注9</sup> )
自己治癒コーティング (2028 <sup>注10,11,12</sup> )	ハイドロゲル オルガノゲル	開発途上	市場予測に大きなばらつき	11.住み続けられるまちづくりを 12. つくる責任つかう責任	0.46億USD <sup>注10</sup> , 24億USD <sup>注11</sup> , 626.6億USD <sup>注12</sup>
(参考)断熱材(2030 <sup>注13</sup> )	キセロゲル	シリカエアロゲル、ポリマーエアロゲル	設計方針の変更による断熱材への要求性能の変化	3. すべての人に健康と福祉を 11.住み続けられるまちづくりを	16.9億USD <sup>注13</sup>
5G用放熱材 (2026 <sup>注14</sup> )	ハイドロゲル オルガノゲル	フレキシブル/寸法自由度、密着性 水冷と違い固体のため水漏れ無	熱伝導率で無機系より不利 既存のシリコンファイバーとの差別化ポイントが不明	9. 産業と技術革新の基盤をつくる	9億 USD <sup>注14</sup>
培養肉用の足場材 (2030 <sup>注15</sup> )	ハイドロゲル	コラーゲンゲルでの検討例	IPが参入障壁となる可能性	2. 飢餓をゼロに	2.8億USD (代替肉市場 <sup>注15</sup> )

注：1GrandViewResearch、2GlobalMarketInsight、3Fortune Business Insights、4Industry Arc、5MarketsAndMarkets、6MarketsAndMarkets、7矢野経済研究所、8Fact MR、9Fortune Business Insights、10Data Bridge Market Research、11Market Research Future、12Fortune Business Insights、13SDKI、inc、14Research and Markets、15Allied Market Research

出所：各種資料から三井物産戦略研究所作成

また、化学ゲルの市場ポテンシャルを縦軸、化学ゲルの用途との親和性の高さを横軸として、用途をマッピングしたものを図表3に示す。次節以降では、特に親和性の高い3つを紹介する。

図表3 有望な用途のマッピング



出所：GrandViewResearch社など各社資料から三井物産戦略研究所作成

### 3-1. 有望な用途1：船底塗料

船底塗料とは、海水と触れる部分が錆の発生によって劣化することや、フジツボなどの生物が付着することを防ぐために船底に使われる塗料である。船底に生物が付着すると航行中に水流の抵抗が大きくなるため、塗料を塗ることで、船体在使用条件下で安定して役割を果たすことのできる能力を向上させるだけでなく、燃費低下を防ぐ効果も得られる。従来は生物付着防止のために有機金属化合物などの殺生物剤が使われてきたが、近年では海洋汚染防止の観点から、殺生するのではなく付着防止性能を発現させられる塗料の検討が進められてきた。(米)Repela は化学ゲルをベースとした殺生物剤不使用の船底塗料を開発した。これは(米)Wayne州立大学で開発された超親水性の新規化学ゲルが持つ、表面に水の層を形成して生物を付着しにくくする性質を利用したものである。

### 3-2. 有望な用途2：電気自動車 (EV) 用電池のカソード用バインダー

EV用電池のカソードには、使用時の温度変化や振動に長期にわたって耐えられるよう、より高い耐久性の確保が求められている。カソードのグラファイト電極と導電性粒子を銅の集電体に接着するバインダーに対しても、温度変化や振動によって剥がれたり、バインダー中に適度に分散した導電性粒子の状態が変わったりしないような材料が求められている。ここでも、高機能化した化学ゲルが持つしなやかさや密着性、断熱性がいかせる可能性は高い。

### 3-3. 有望な用途3：ウェアラブルロボティクス用の筋肉型の駆動装置

化学ゲルはしなやかで軽量かつモーターのような騒音がないことから、人との親和性や安全性に優れた駆動装置への活用も期待されている。信州大学は、ポリ塩化ビニルに可塑剤を内包させたゲルで、人間の筋肉に近い伸び縮みを可能にする駆動装置を開発した。この技術は信州大学発のスタートアップ AssistMotionによって、プロトタイプ of 腰サポートウェア heige LS (図表4) に実装された。ゲルが収縮することで持ち上げ動作における腰の負荷を減らす。民生品として展開するためには駆動に必要な電圧を下げなければならないという技術課題が残っている。価格、重量ともに既存のモーターより下げられる可能性が高いだけに、課題の早期解決が待たれる。

図表4 PVCゲル駆動装置を搭載した腰サポートウェアheige LS



出所：[Assist Motion ウェブサイト](#)

#### 4. 今後の展望

共有結合や体積変化の制御技術の進展により、化学ゲルは重要な社会問題の解決に資するマテリアルへと進化しつつある。今後期待されるのは材料の組み合わせと機械的・電気的特性のデータベース化である。データベース化と人工知能（AI）活用は、様々な分野で開発の加速や技術ブレイクスルーに貢献している。

昭和電工マテリアルズでは、機能性材料の開発に関するデータベースを整備し、独自開発したAIを実装した。検証に用いた透明接着フィルム開発では、熟練開発者が実現できなかった高難度の技術開発目標をAIが達成し、2021年12月にその成果を公表している。また、量子科学技術研究開発機構では2021年9月、量子化学計算によってポリマーの原料となるモノマーの構造を数値化し、AIに学習させることで、放射線グラフト重合で得られるポリマーの物性を決める重要因子であるモノマーの反応率を、高精度かつ瞬時に予測することに成功した。

化学ゲルもポリマーと充填される物質を複合化した機能性材料であることから、量子化学計算とAIによる網目構造の予測と、予測データを含んだデータベースとAIの組み合わせを最適化して開発に利用することで、既存・新規いずれの用途においても性能が飛躍的に向上することが期待される。

当レポートに掲載されているあらゆる内容は無断転載・複製を禁じます。当レポートは信頼できると思われる情報ソースから入手した情報・データに基づき作成していますが、当社はその正確性、完全性、信頼性等を保証するものではありません。当レポートは執筆者の見解に基づき作成されたものであり、当社及び三井物産グループの統一した見解を示すものではありません。また、当レポートのご利用により、直接的あるいは間接的な不利益・損害が発生したとしても、当社及び三井物産グループは一切責任を負いません。レポートに掲載された内容は予告なしに変更することがあります。