

〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-1

## 液体金属を用いた伸びる リチウムイオンバッテリーを実現

### 本研究のポイント

- ・大気中で動作する伸びる(ストレッチャブル)リチウムイオンバッテリーを実現
- ・液体金属を用いて高いガスバリア性を有する伸縮可能なフィルムを開発することにより大気中で動作するリチウムイオンバッテリーを実現した。
- ・IoT に用いる次世代型ウェアラブルデバイスへの応用が期待できる

### 【研究概要】

横浜国立大学の太田裕貴准教授及び上野和英准教授らの研究グループは、液体金属による伸縮可能なガスバリアフィルムを実現しました。開発したフィルムをバッテリーパッケージに用いることによって、大気中で動作可能な、伸びる(ストレッチャブル)リチウムイオンバッテリーを実現しました。今後、次世代のウェアラブルデバイスでの利用が期待されているストレッチャブルセンサーとの連携が期待されるとともに、IoT のための新バッテリーとして期待されます。本研究成果は、国際科学雑誌「ACS Applied Materials & Interfaces」(9月27日付：日本時間9月28日)に掲載されました。

### 【研究成果】

液体金属(LM)の伸縮性とガスバリア性を利用することによって、高いガスバリア性と伸縮性を両立した薄膜フィルムを開発しました。その開発したフィルムをリチウムイオンバッテリーのパッケージとして用いることによって、大気中で動作する伸縮可能な(ストレッチャブル)リチウムイオンバッテリーを実現しました。従来ストレッチャブルバッテリーにはゴム材料をパッケージング材料に用いていました。しかしながらゴム材料は酸素ガス及び水分に対して高い透過性を有します。その結果、リチウムイオンバッテリーを劣化させてしまい、大気中で使用することが困難でした。そこで、本研究では、ポリウレタンゴムに液体金属をコートすることで、ポリウレタンゴムに高いガス・水分バリア性を付加することができました(図1, 2)。このフィルムをリチウムイオンバッテリーのパッケージとして用いることによって大気中で動作するストレッチャブルリチウムイオンバッテリーを実現しました(図3)。通常のゴム材料をパッケージング材料に用いたとき、大気中でバッテリー電圧は2時間以内に低下した一方で、本研究のガスバリアフィルムをバッテリーのパッケージングに用いることで15時間以上高い電圧を持つことができました(図4)。

### 【実験手法】

ポリウレタンゴム上に金を成膜し、その上に液体金属をコートします。金薄膜はポリウレタンの伸縮に耐えることはできませんが、液体金属がポリウレタンゴムを被覆することでガスと水分の透過を抑制します。バッテリーの構成材料に、電極基材として多孔性SBS(styrene-butadiene-styrene)を、負極・正極活物質としてそれぞれLTO ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ )とLFP ( $\text{LiFePO}_4$ )を、セパレータとしてゲルセパレータを用い、バッテリーに伸縮性を付与しました。その上で、それぞれの材料を積層しました。最終的に、本研究で開発したガスバリアフィルムで、これら材料をパッケージングすることによりストレッチャブルリチウムイオンバッテリーを実現しました。

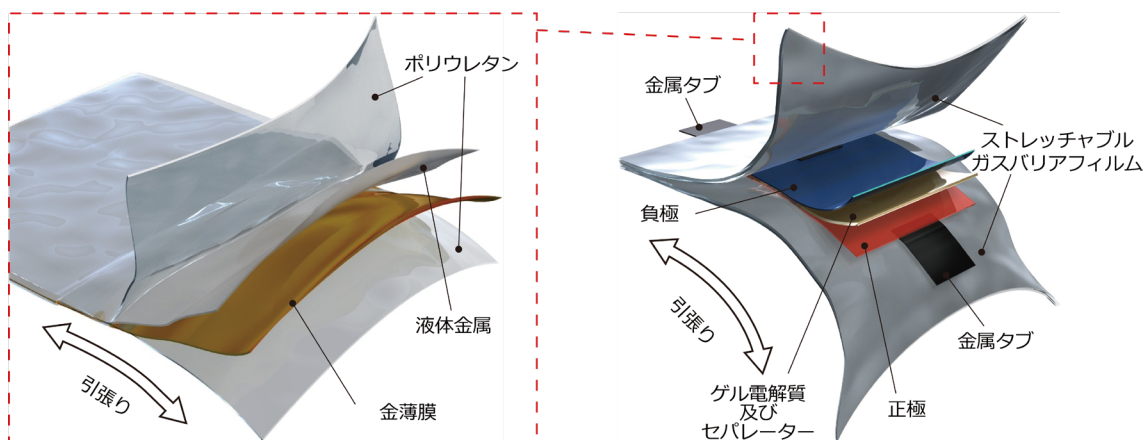


図 1 ストレッチャブルガスバリアフィルム(左図)とリチウムイオンバッテリー(右図)概念図。

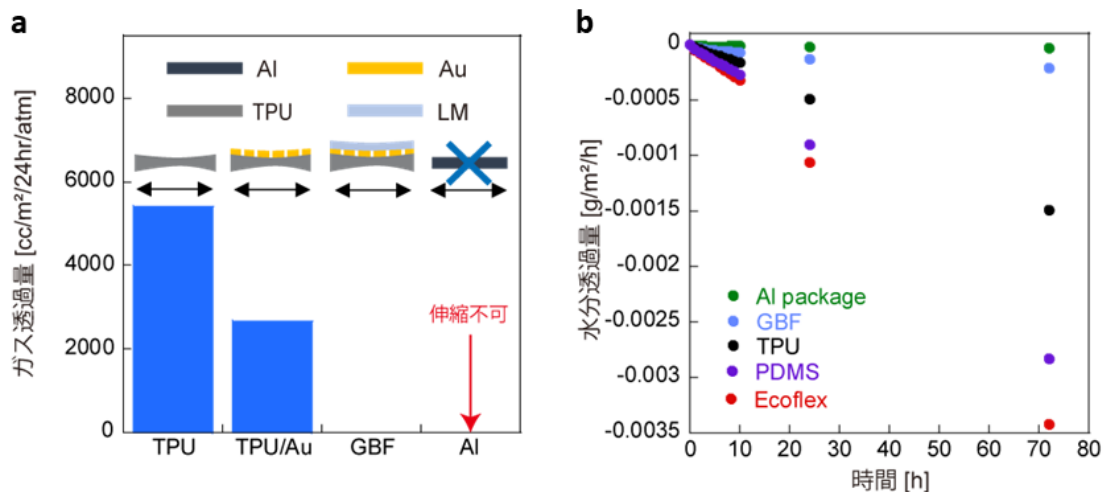


図 2 ストレッチャブルガスバリアフィルムの機能。a. 熱可塑性ポリウレタン (TPU)、金がコートされた TPU(TPU/Au)、本フィルム(TPU/Au/LM)、アルミニウムパッケージ(Al)の酸素ガス透過性。b. アルミニウムパッケージ、本フィルム(GBF)、TPU、シリコーンゴム (PDMS、Ecoflex)の水分透過性。各時間後ごとの密閉した容器内の水の減少量を示している。下に向かうほど高い透過性を示している。

### 【社会的な背景】

現在、シリコーンゴムやポリウレタンゴムを用いたストレッチャブルエレクトロニクスに関する研究が盛んに行われています。ストレッチャブルエレクトロニクスは次世代のウェアラブルデバイスを支える基盤技術となることが期待されています。様々なストレッチャブルセンサーやインタフェースが提案されているものの、デバイス化、システム化するうえでバッテリーに関して課題が存在します。現在のストレッチャブルデバイスには硬く大きいリチウムイオンバッテリーが使用されており、デバイス全体の伸縮性を大きく損なっています。そのため、ストレッチャブルバッテリーが、近年、研究されています。しかしながら、現在高出力が可能なストレッチャブルリチウムイオンバッテリーはそのままでは大気中で使用できず、社会実装を考えるうえで大きな問題となっています。これは、外装材にゴム材料を用いているため、ガスと水分が透過することに起因しています。そこで、本研究では液体金属をパッケージング材料に用いることで、この問題を解決し、大気中で使用できるストレッチャブルリチウムイオンバッテリーを実現しました。

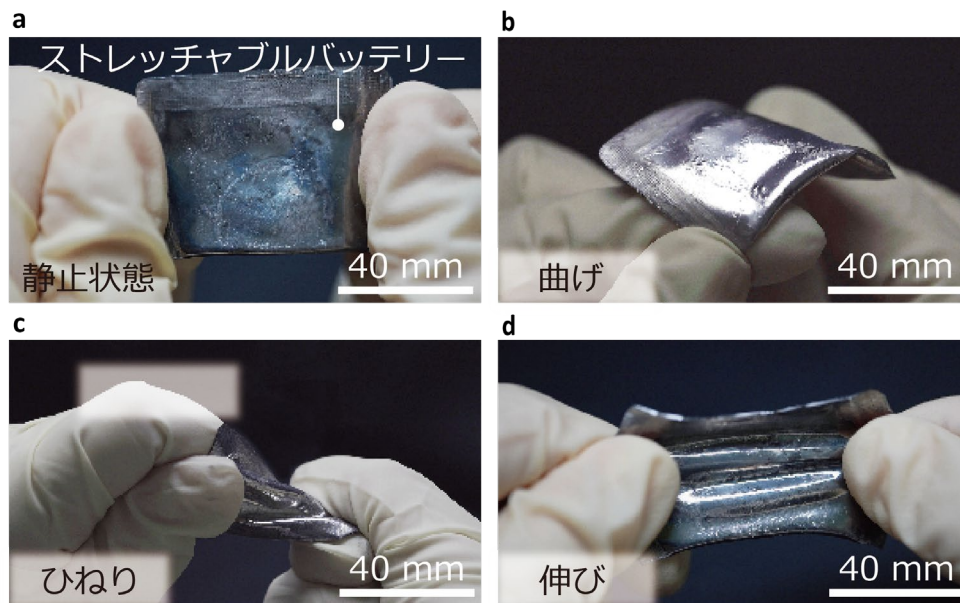


図3 ストレッチャブルバッテリーの変形能。a. 静止状態、b. 曲げ、c. ひねり、d. 伸び

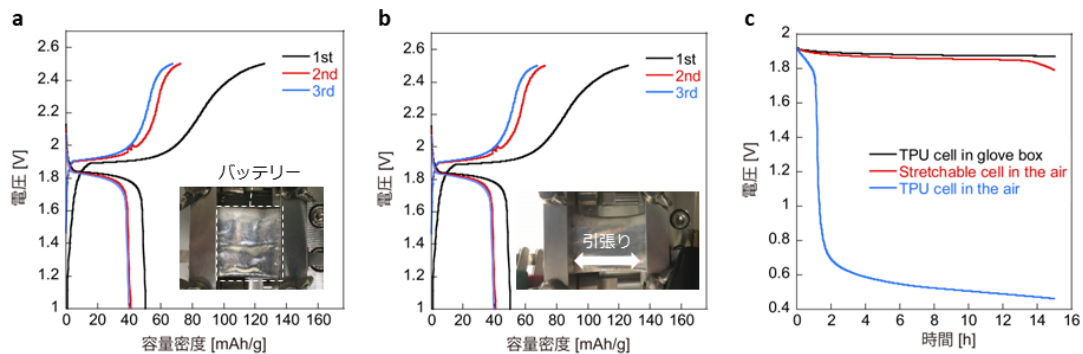


図 4 ストレッチャブルバッテリーの性能。a. 静止状態での充放電曲線、b. 50%引っ張ったときの充放電曲線。c. ストレッチャブルバッテリーの時間ごとの電圧変化。グローブボックス内(黒)と大気中(青)のストレッチャブルバッテリーの電圧。開発したフィルムをパッケージング材料として用いたときのストレッチャブルバッテリーの電圧(赤)

#### 【今後の展開】

本研究では、社会実装に向けて大気中で使用できるストレッチャブルリチウムイオンバッテリーを実現するために伸縮可能な高ガス・水分バリアフィルムを開発しました。ストレッチャブルエレクトロニクスを最大限生かし、デバイスとして社会に提供するためには、ストレッチャブルデバイスの特性に応じた伸縮可能なバッテリーの実現が必要不可欠です。本研究では、そのための試金石的研究になっています。今後、このフィルムの低コスト化を行うことでストレッチャブルバッテリー、ストレッチャブルデバイスの社会実装につながると期待されます。

(DOI: 10.1021/acsami.2c13023)

#### 【本研究への支援】

本研究は JST 戦略的創造研究推進事業 CREST (課題番号 JPMJCR1905)による支援を受けて行われました。

本件に関するお問い合わせ先

横浜国立大学 大学院工学研究院 准教授 太田 裕貴 Tel : 045-339-4330

e-mail : ota-hiroki-xm@ynu.ac.jp