

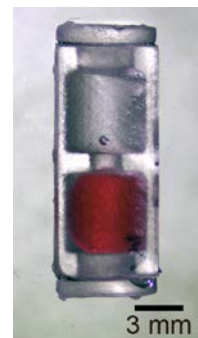
# 液滴を使った衝撃センサを提案、その設計指針を確立 ～ 電源不要の「柔らかい」センサの開発に期待 ～

学校法人 中央大学

## 概 要

中央大学理工学部 教授 鈴木 宏明、助教 岡野 太治、高橋 大吾 氏（大学院理工学研究科学  
生・当時）、原 啓佑 氏（理工学部学生・当時）の研究グループは、マイクロ流体工学をベース  
とした衝撃検出センサを提案し、その開発に結びつく設計指針を確立しました。

近年、スポーツシーンでの外傷性脳損傷が国内外を問わず社会問題化しており、そのリスク管  
理の一環として、身体にセンサを装着して行う衝撃モニタリングが一部で実施されています。本  
研究グループは液体の比重差などを利用することで、電子部品が不要で衝撃の有無を目視で確認  
できる衝撃検出技術を提案し、その原理検証を進めてきました。オイル中に液滴を作ると、両者  
の比重差によって液滴は重力の働いている向き（または逆向き）に移動しま  
す。提案技術ではこれを利用し、樹脂製センサの内部に封入された液滴の移  
動状況から衝撃の有無を判断することで、スポーツシーンで危険とされる約  
20～100 G の衝撃（作用時間約 10 ミリ秒）を検出することに成功しました。  
このセンサで検出可能な衝撃力は、液体を封入する区画の形状や使用する液  
体の組み合わせなど、多数の因子が複雑に関与することで決まります。本研  
究グループは、これを二つの無次元数<sup>注1</sup>を用いることで容易に決定でき  
ることを明らかにし、液滴を使った衝撃検出センサの開発に有用な設計指針を  
確立しました。



試作センサ

本研究成果は4月11日（日本時間）、米国科学誌「PLOS ONE」に掲載されました。

\*\*\*\*\*

**【注意事項】** 本内容については、すぐに報道していただけます。

**【研究者】** 鈴木 宏明 中央大学理工学部・教授（精密機械工学科）  
岡野 太治 中央大学理工学部・助教（精密機械工学科）

**【発表雑誌】** 雑誌名：PLOS ONE (Published online: 11 April 2018).  
論文タイトル：“A fluidics-based impact sensor”  
<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0195741>

## 【研究内容】

### 1. 背景

スポーツでの外傷性脳損傷は深刻な問題となっており、様々な対策が講じられています。その取り組みの一つとして身体に装着する衝撃検出センサの利用が挙げられますが、スポーツ用センサの多くは信号の送受信機や記録媒体などが必要であり、機器の操作や導入コストなどの面で課題がありました。そのため、アマチュアスポーツや学校の部活動のような一般競技者への普及は進んでいません。この状況を改善するため、本研究グループは衝撃の有無を簡便に計測可能な衝撃検出センサの新奇なコンセプトを提案し、その動作原理の検証を通して設計指針を得ることを目指しました。

### 2. 研究内容と成果

本研究では、3Dプリンタを用いて、ネック部で仕切られた二つの区画から成る流路構造をもつセンサ筐体を作製しました（図 1a,b）。この内部をオイルで満たし、一方の区画に水を封入して得られる液滴を作動流体として用いました。この液滴は、直径がネック部よりも大きいと一方の区画に留まり続けますが、一定以上の衝撃を受けると慣性力によって隣接する区画へ移動すると期待されます（図 1c）。そこで、センサを試作しこれを用いて落下衝撃試験を行うことで、作動流体の移動状況（センサの応答）と衝撃加速度との相関を調べました。実験では落下衝撃を加えた後の作動流体の位置を目視で確認し、液滴の一部または全部が隣接する区画に移動したものをセンサが反応したと判断しました。

一例として、オイルにフルオロカーボンオイルを用いて行った実験の結果を図 2 に示します。このグラフでは、複数の試作センサを同時に落下させた際に応答したセンサの割合を、衝撃加速度についてプロットしています。この結果をシグモイド関数<sup>註2</sup>でフィッティングしたところ、この試作センサでは 44 G 以上の衝撃を検出できることが分かりました。

提案したセンサで検出可能な衝撃の大きさは、ネック部の径や封入するオイルの種類、水滴の比重・粘度、オイルと水間の界面張力など、様々なパラメータに依存しています。このような多数のパラメータを伴う物理現象であっても、適切な無次元数<sup>註1</sup>を用いるとその特徴を簡便に記述できます。そこで、研究グループではアルキメデス数  $Ar$ <sup>註3</sup>、ボンド数  $Bo$ <sup>註4</sup> と呼ばれる二つの無次元数を用いて、図 3 に示す相図を作成しました。この結果から、所望の衝撃加速度で応答するセンサを開発するには、アルキメデス数が概ね 300 以上で、且つボンド数が概ね 50 以上になるように各パラメータを設定すれば良いことが明らかになりました。

### 3. 今後の展開

本研究により、液滴を使った衝撃検出センサの開発に有用な設計指針を得ることができました。このセンサは樹脂製の筐体と二種類の液体のみで作製できるため、筐体に柔軟な樹脂を採用することで、身体への装着性に優れた柔らかいセンサの開発に繋がると期待されます。また、センサの応答を目視で確認できるため信号の送受信機が必要なく、モニタリングシステムの簡素化が見込まれます。今後は本研究で確立した設計指針を基に、多方向からの衝撃検出や、柔軟な樹脂で作製したセンサの応答試験など、より実用化を志向した研究を展開していきます。

### 4. 謝辞

この研究は、公益財団法人 JKA からの助成（平成 27 年度機械工業振興補助事業研究補助）を受けて行われました。

## 【お問い合わせ先】

<研究に関すること>

鈴木 宏明 (スズキ ヒロアキ)

中央大学理工学部 教授 (精密機械工学科)

TEL : 03-3817-1827

E-mail : suzuki@mech.chuo-u.ac.jp

<広報に関すること>

加藤 裕幹 (カトウ ユウキ)

中央大学 研究支援室

TEL 03-3817-1603, FAX 03-3817-1677

E-mail: k-shien@tamajs.chuo-u.ac.jp

## 【用語解説】

### 注1 無次元数

長さや粘度など複数の物理量を掛け合わせたり割ったりすることで得られる、単位のない数。

### 注2 シグモイド関数

S字型の曲線を描く関数の総称。この研究では、

$$f(g) = \frac{1}{1 + \exp\{-k(g - g_{th})\}}$$

を用いた。

### 注3 アルキメデス数

体積力と粘性力の比で表される無次元数。液滴の比重  $\rho_w$ 、比重差  $\Delta\rho$ 、衝撃加速度  $G$ 、ネック径  $d_{neck}$ 、液滴の粘度  $\mu$  を用いて、

$$Ar = \frac{\rho_w \Delta\rho G d_{neck}^3}{\mu_w^2}$$

で表される。

### 注4 ボンド数

体積力と界面張力の比で記述される無次元数。比重差  $\Delta\rho$ 、衝撃加速度  $G$ 、ネック径  $d_{neck}$ 、界面張力  $\gamma$  を用いて、

$$Bo = \frac{\Delta\rho G d_{neck}^2}{\gamma}$$

で表される。

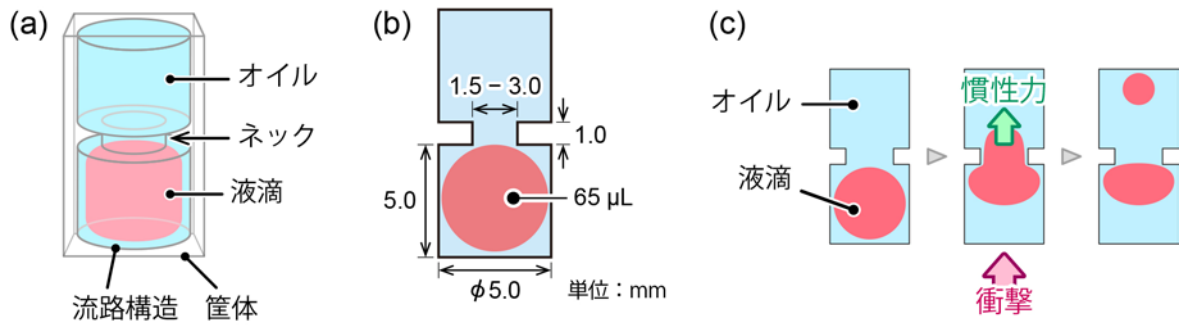


図 1 (a) センサの構成の概略図。(b) 流路構造の寸法。(c) センサの動作原理（液滴の比重がオイルの比重よりも小さい場合）。

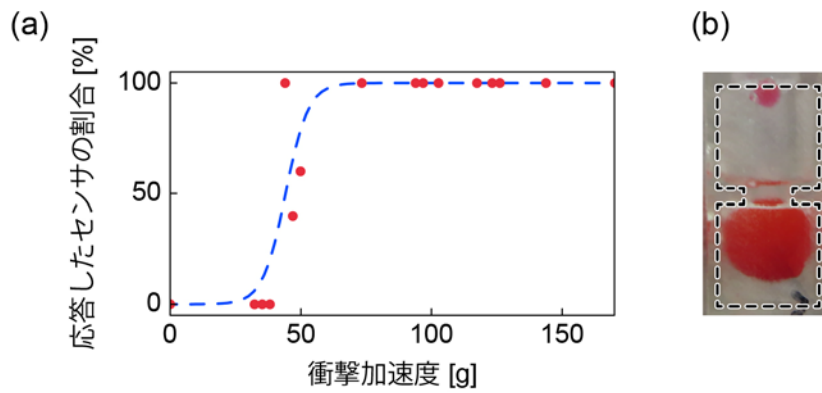


図 2 (a) 落下衝撃試験後に応答していたセンサの割合(赤丸)とフィッティングの結果(青破線)。(b) 応答後のセンサの写真。ネック部の直径  $d_{neck}$  は 2.5 mm。

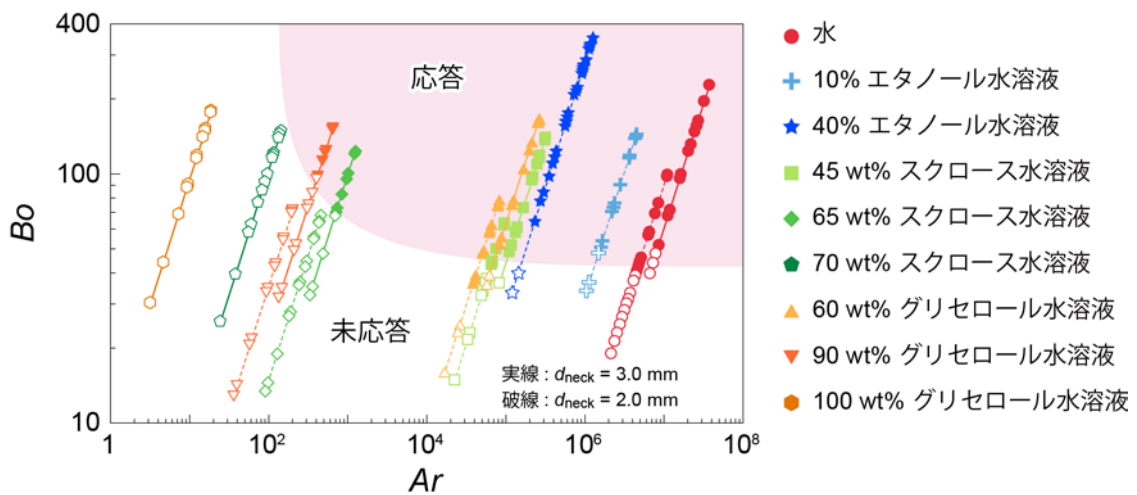


図 3 アルキメデス数とボンド数を用いて描いた相図。各記号の塗りつぶしは応答した条件、白抜きは未応答の条件を表している。