

# マドラー型 飲み物の栄養成分チェッカー

鹿児島大学大学院理工学研究科（工学系）  
化学生命工学プログラム 助教 満塩 勝

2024年12月3日

## 従来技術とその問題点

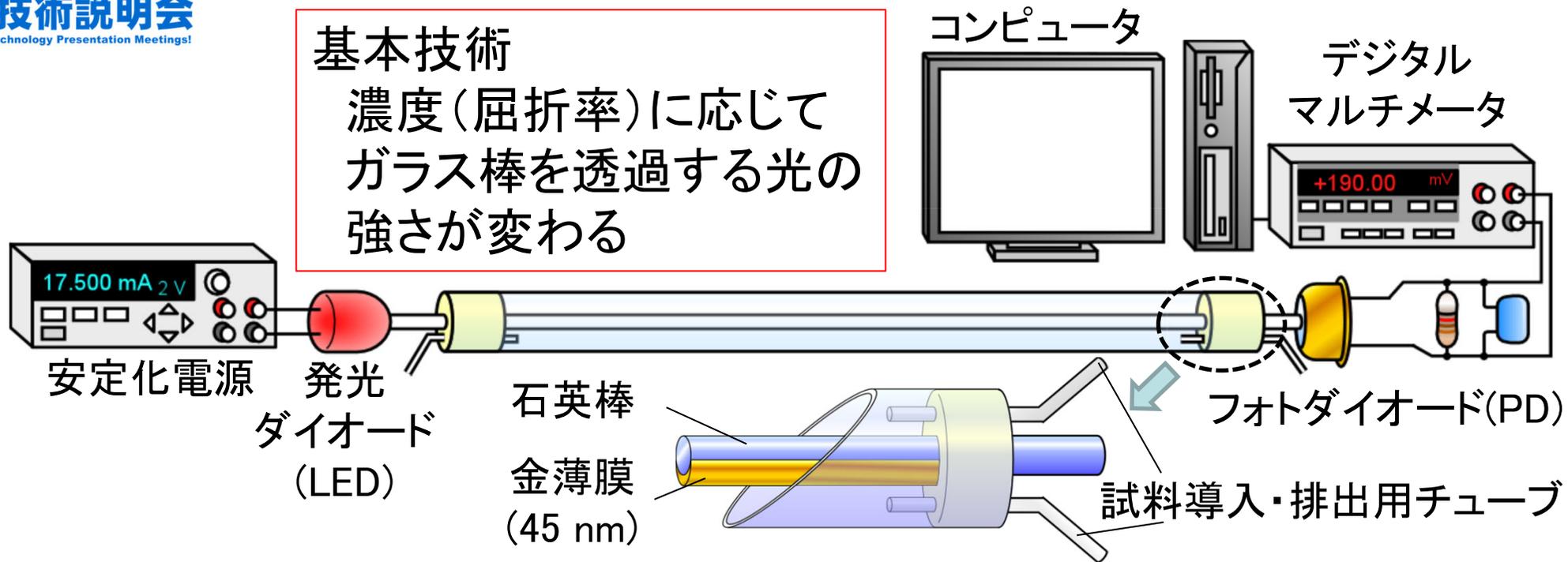
競合技術として、近赤外の吸収スペクトルからカロリーや脂質、タンパク質、水分などを算出できる装置がある。また、フォーリンチオカルト法のような化学反応を利用した比色分析も存在する。

これらの方法は高感度であるが、測定には化学実験用の器具や吸光光度計などが必要となり、準備時間やコスト、廃液処理などの問題があり、容易に使えるとは言い難い。

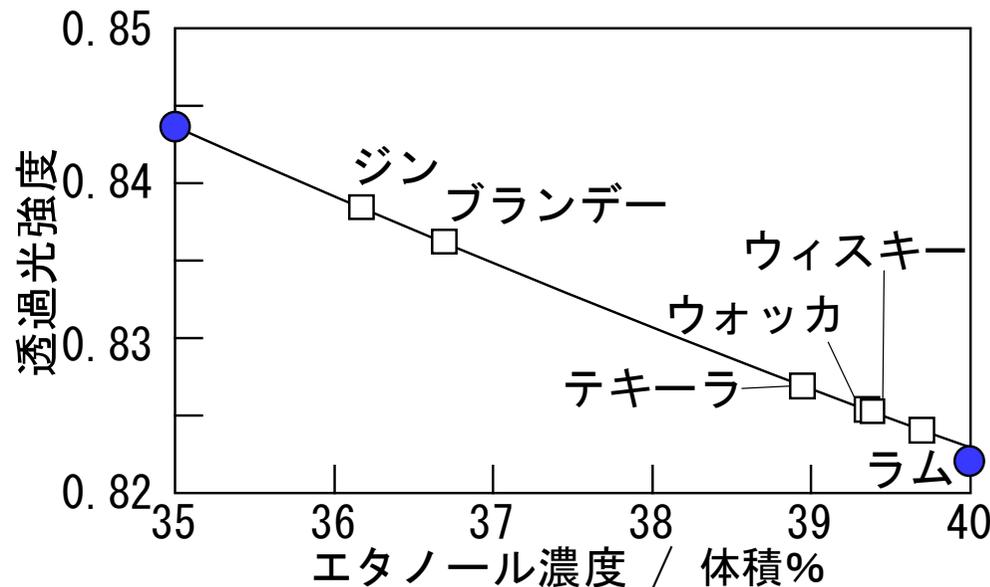
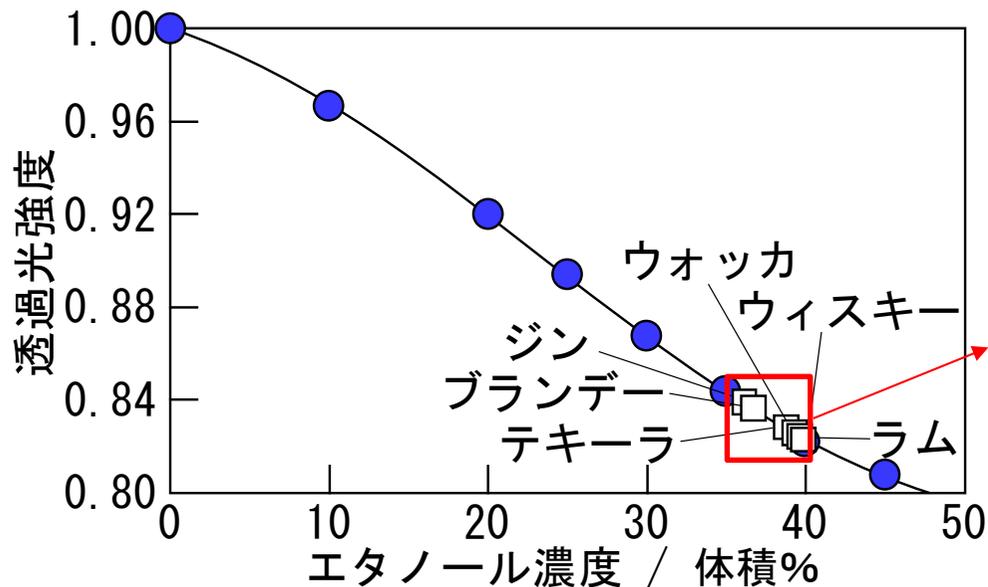
# 新技術の特徴・従来技術との比較

- 本技術では、従来技術と比較して汎用性が低い代わりに、ある程度栄養成分を絞って計測することが可能であり、また装置の構成が単純で少ない部品点数で構築できる点が特徴である。
- センサー部分のみを用途に合わせて交換することで複数成分の簡便な分析も可能である。

基本技術  
濃度(屈折率)に応じて  
ガラス棒を透過する光の  
強さが変わる



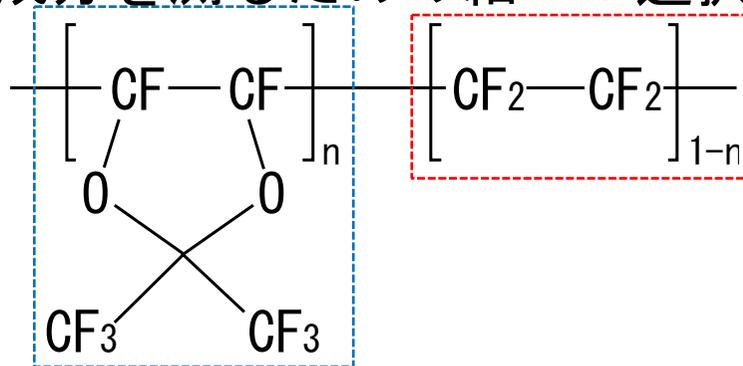
金属蒸着ガラス棒SPRセンサー



各種蒸留酒のアルコール濃度(体積%)

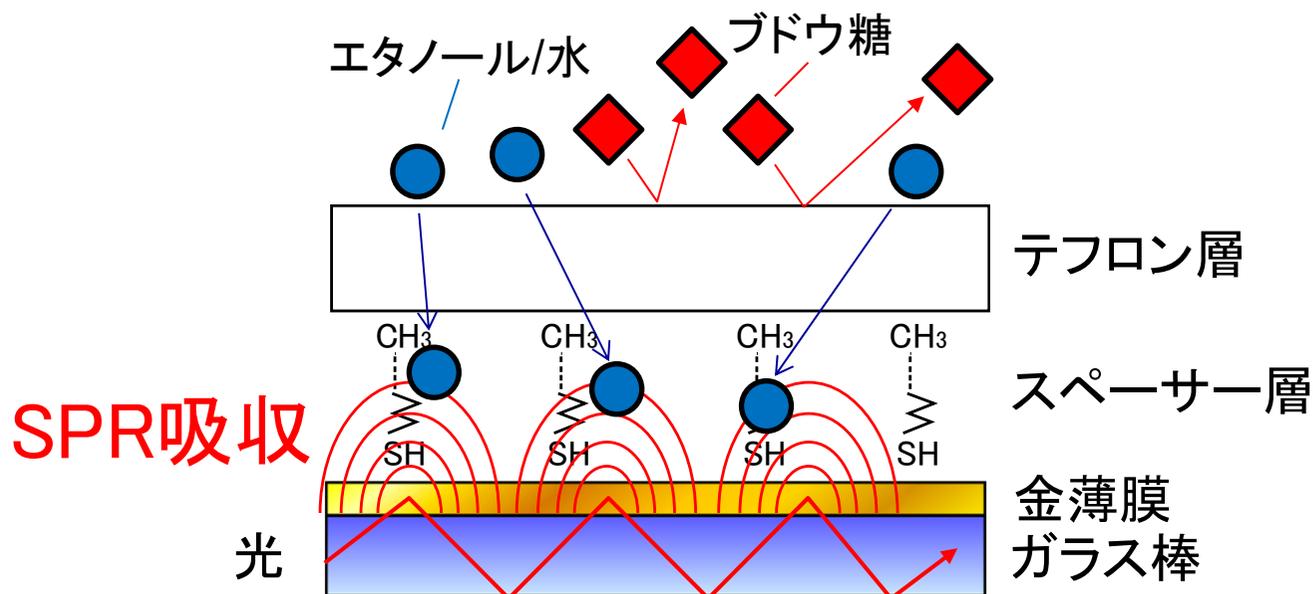


飲み物の成分を測るための細工：選択膜の開発・探索 アルコール



品番	AF1600	AF2400
n	0.65	0.87
屈折率	1.31	1.29

液体の水などをはじいて気体の水蒸気やガスを通す特殊なテフロン



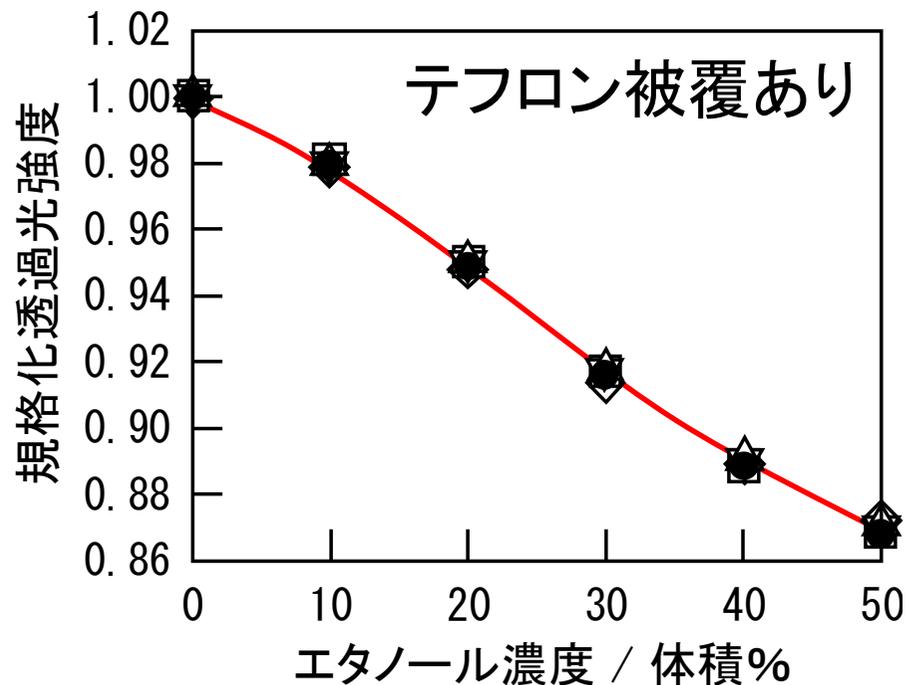
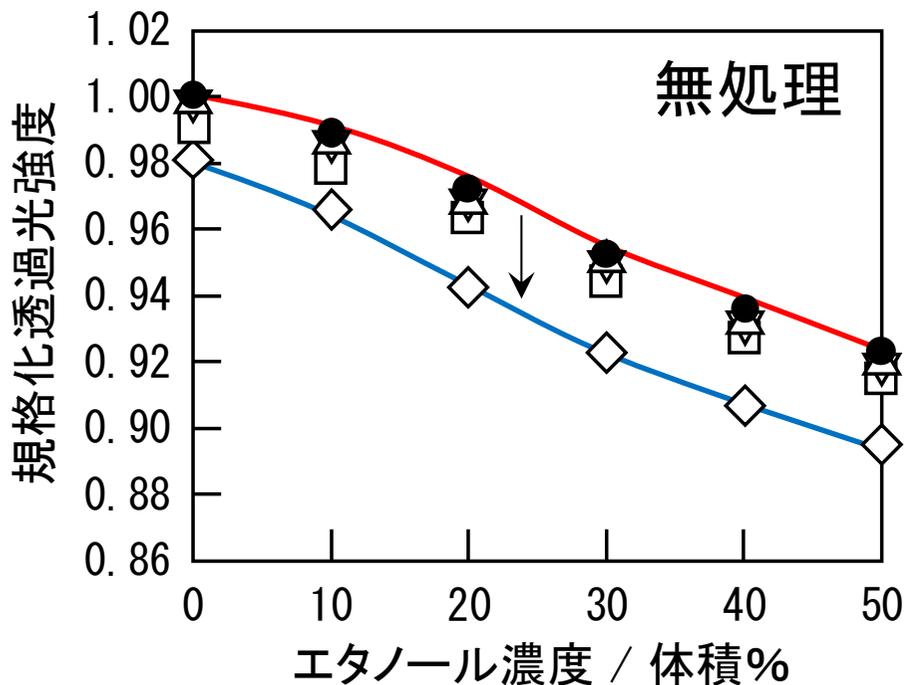
アルコールは蒸発しやすいことから、蒸発した水やアルコールだけを通すテフロンでセンサーを覆うことで、日本酒のような醸造酒のアルコール度数測定ができないか？

満塩 勝, 向野 孝幸, 肥後 盛秀, 分析化学, 63, 365 (2014).

M. Mitsushio, A. Nagaura, T. Yoshidome, and M. Higo, *Prog. Org. Coat.*, 79, 62 (2015).

M. Mitsushio, T. Masunaga, T. Yoshidome, and M. Higo, *Prog. Org. Coat.*, 91, 33 (2016).

M. Mitsushio, E. Uchiyama, R. Kajiya, T. Yoshidome, S. Nakatake, and H. Higo, *Anal. Sci.*, 34, 1085 (2018).



各濃度のアルコール水溶液と  
これらの試料を混合

● エタノール水溶液

△ 1.0 % 酒石酸

▽ 0.25 % グルタミン酸

□ 1.5 % ブドウ糖

◇ 5.0 % ブドウ糖

——— ワインの5倍量

——— 日本酒中のアミノ酸の総量

——— ワイン中の糖の総量

——— 日本酒中の糖の総量

テフロン膜がない場合、共存物の影響で  
センサー応答が下にずれる

テフロン膜により、アルコールの濃度を  
正しく計測できた

## 醸造酒のエタノール度数の直接測定

試料	濃度		
	ラベル表記	選択膜なし	選択膜あり
焼酎	25	24.2	23.6
日本酒	15-16	26.0	15.6
白ワイン	<14	19.3	10.4
赤ワイン	<14	24.4	13.5

本来は国税庁所定分析法に則り、蒸留して留分に加水して比重を測定するが、本センサーで直接エタノール度数の測定に成功した。

国税庁所定分析法では、お酒のアルコール度数は以下の方法で決定される

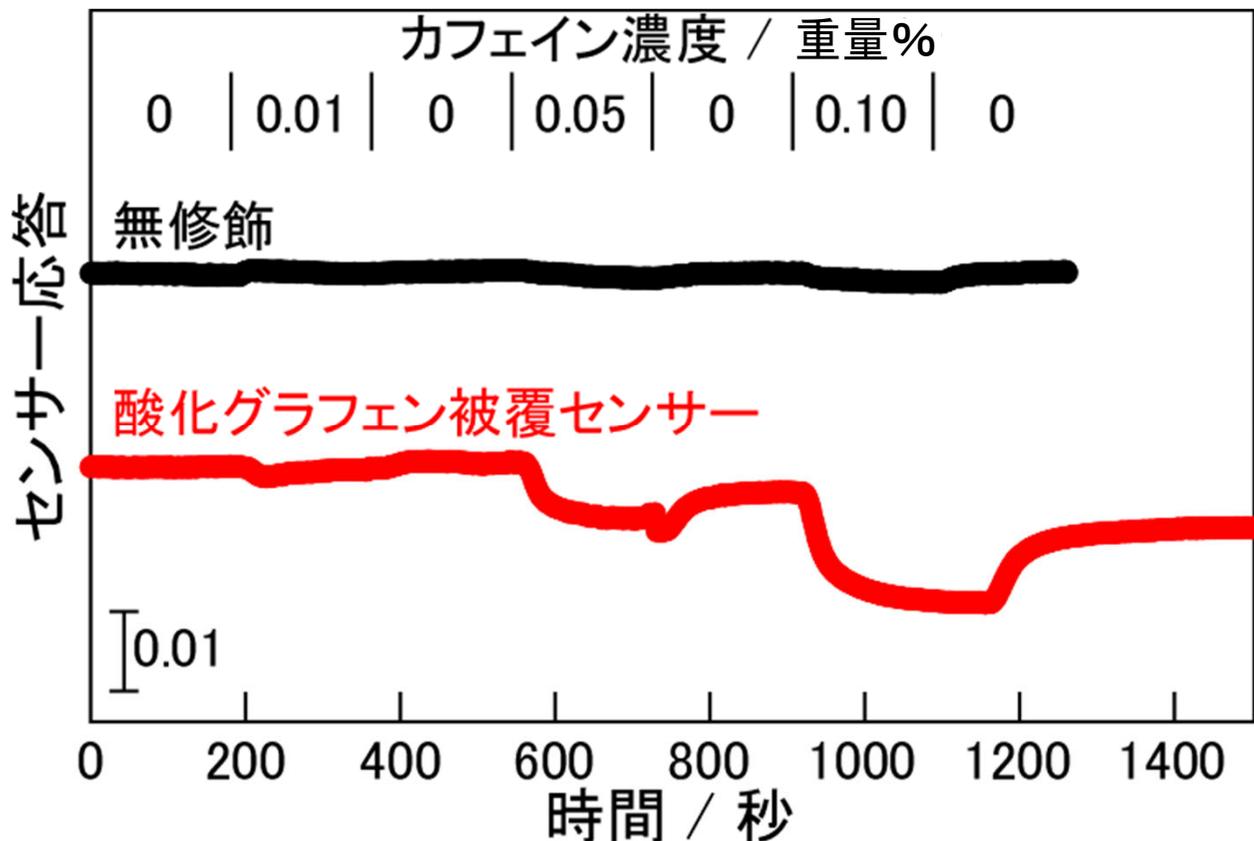
蒸留酒: 15度に保って比重を測定

醸造酒: 蒸留して元の体積の70%以上が留出した後、  
留分に加水して元の体積とし比重を測定する

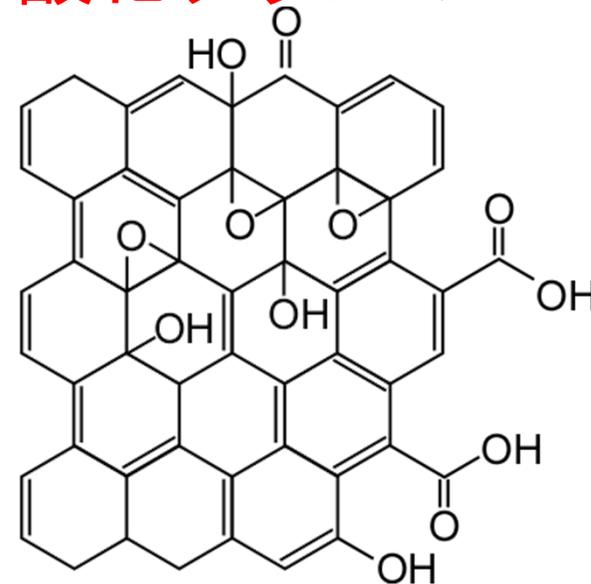
これだけ大きく異なる二つの蒸留酒と醸造酒が同じセンサーで  
何の処理も必要とせずに測定することに成功した！

## 飲み物の成分を測るための細工：選択膜の開発・探索 カフェイン

酸化グラフェンは今最も注目を集めている物質であり、SPRセンサーに応用すれば様々な特性を持たせることができる。

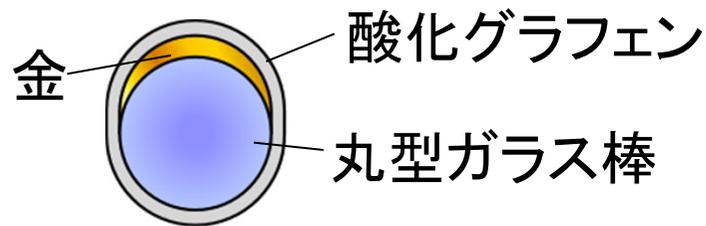
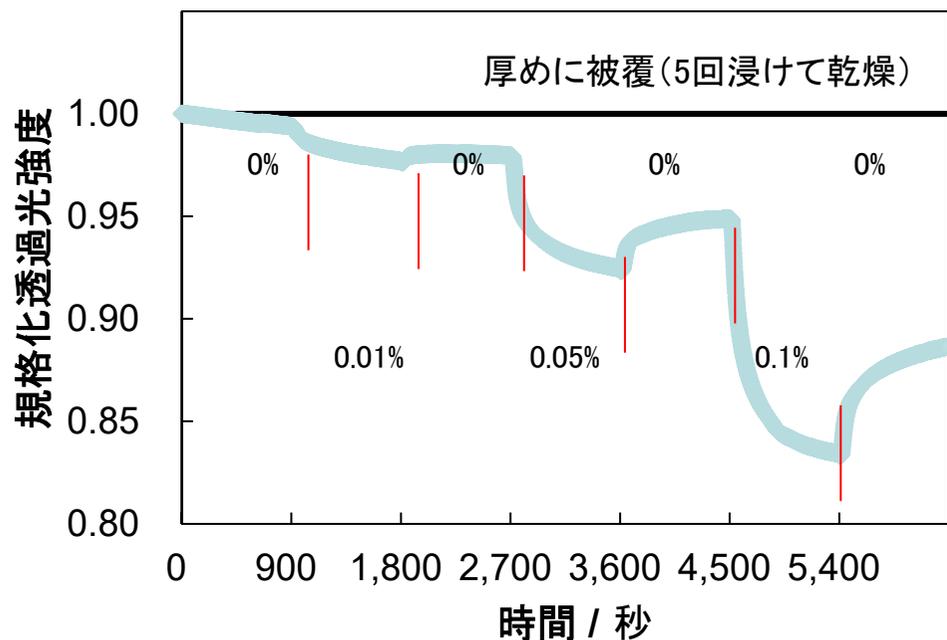


### 酸化グラフェン



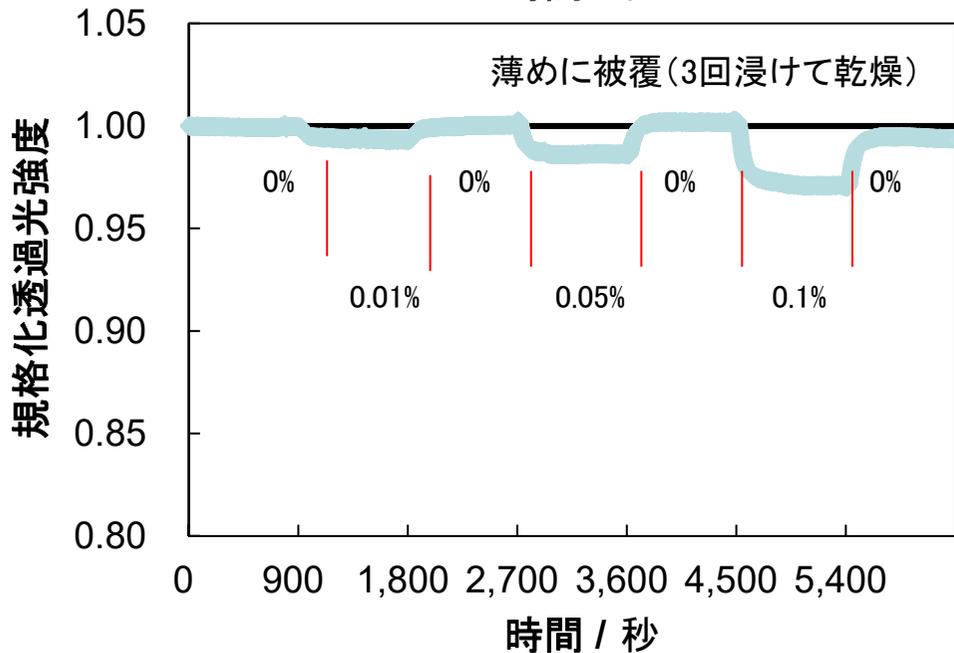
お茶やコーヒーに含まれる濃度(約0.1~0.9 重量%)以下のカフェイン濃度の高感度検出に成功している。

# 飲み物の成分を測るための細工：選択膜の開発・探索 カフェイン



厚めに酸化グラフェン層を作ると、感度が大幅に上がるが戻りが悪くなる。

## 酸化グラフェンの膜厚の最適化

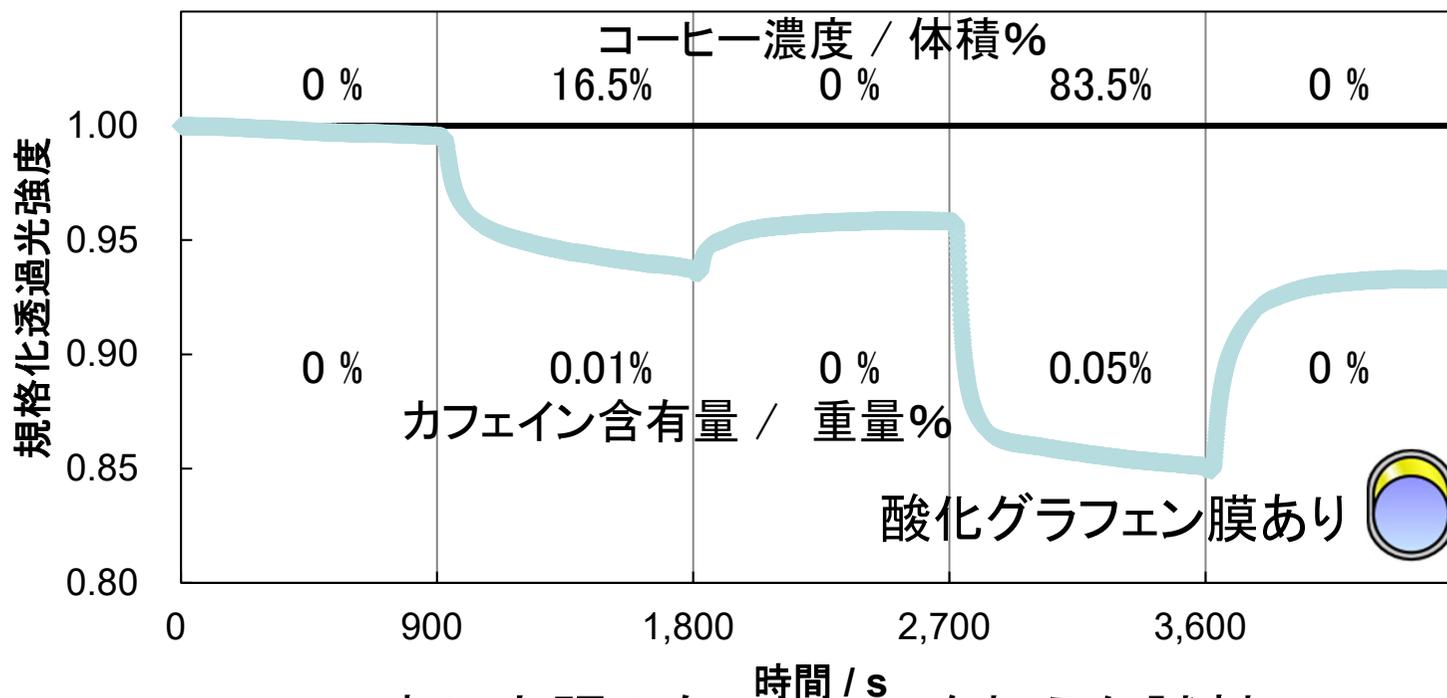
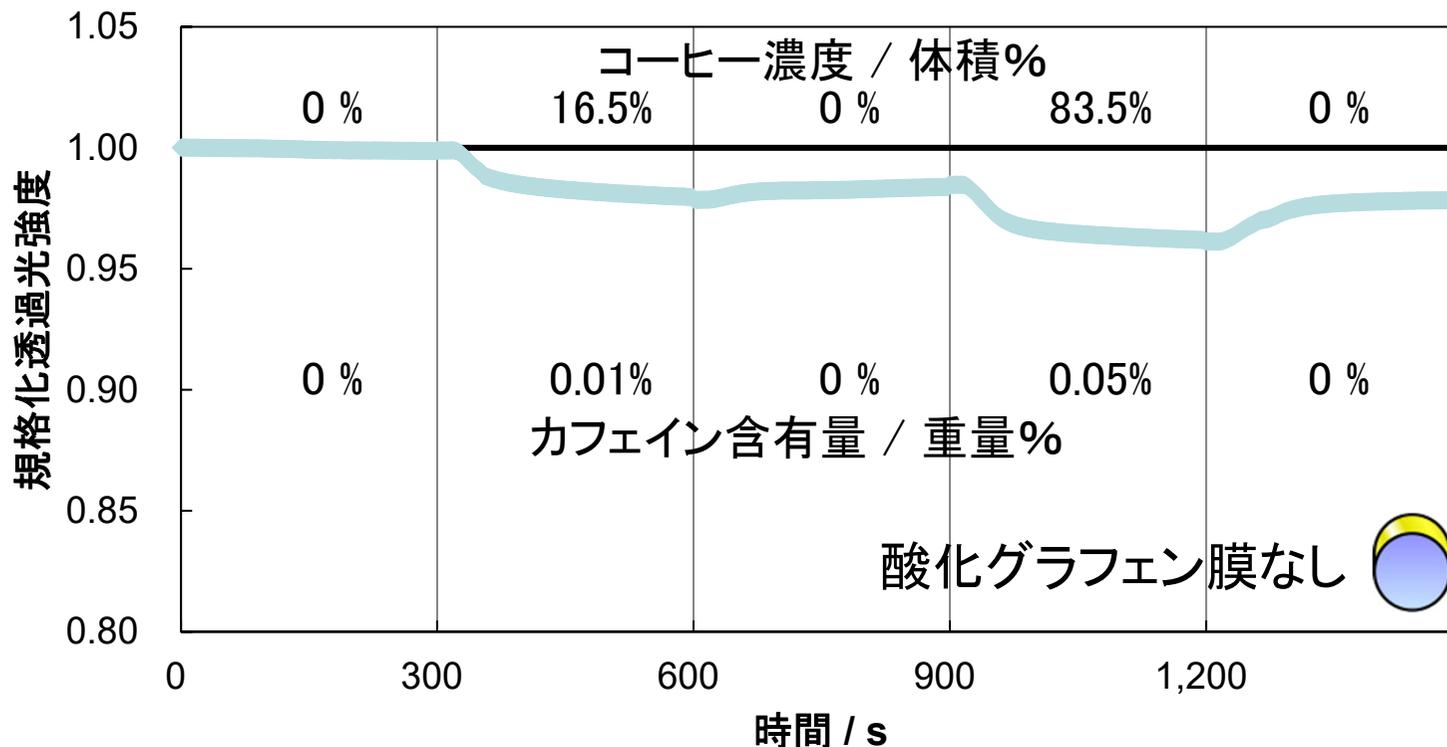


膜厚を薄くすることで感度を落として代わりに応答の戻りが良くなり、**センサーを繰り返し使用することが可能!**

試験的に、市販の  
コーヒーを水で  
薄めてセンサーで  
測定してみた。

薄める度合いは、  
カフェインの含有  
量が0.01、0.05%  
になるようにした。

夾雑物が多い  
コーヒーにおいても  
カフェインを高感度で  
検出できる！



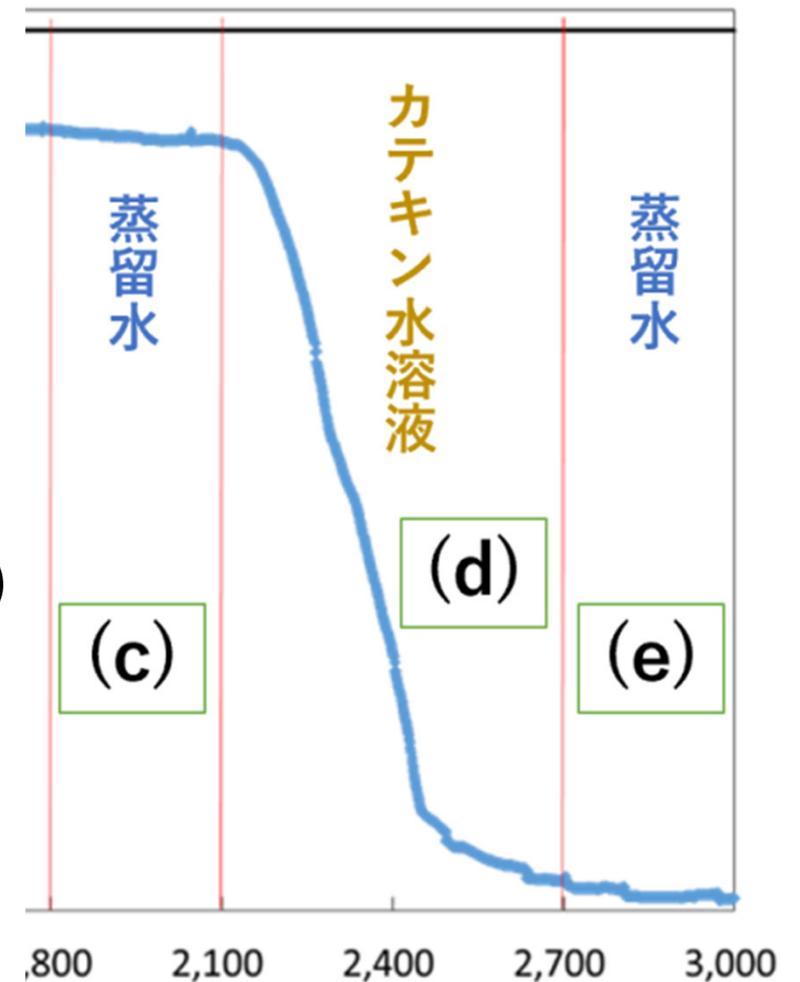
水に市販の缶コーヒーを加えた試料

選択膜の開発・探索 カテキン（ポリフェノール）

緑茶のカテキン含有量  
0.3~0.4 g/100 mL



表面処理  
(特許準備中)



無処理だとカテキンを  
検出できない

表面処理を行うと  
カテキンに強く応答

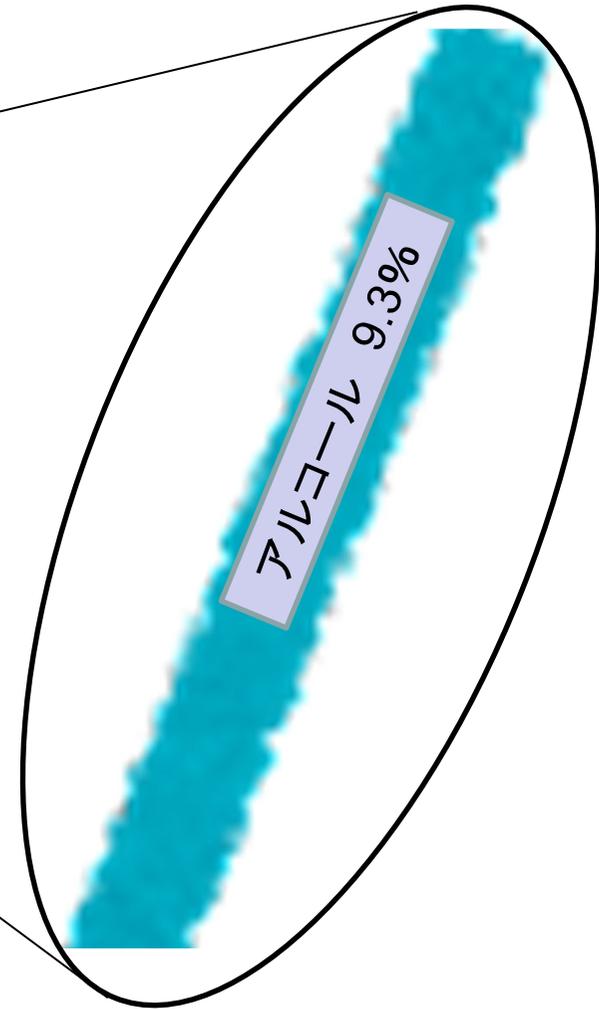
カテキン(ポリフェノール)の検出

## 目指している研究の完成像

マドラーのような形のセンサーを開発し、  
手軽に栄養素の濃度が測れるようにしたい！

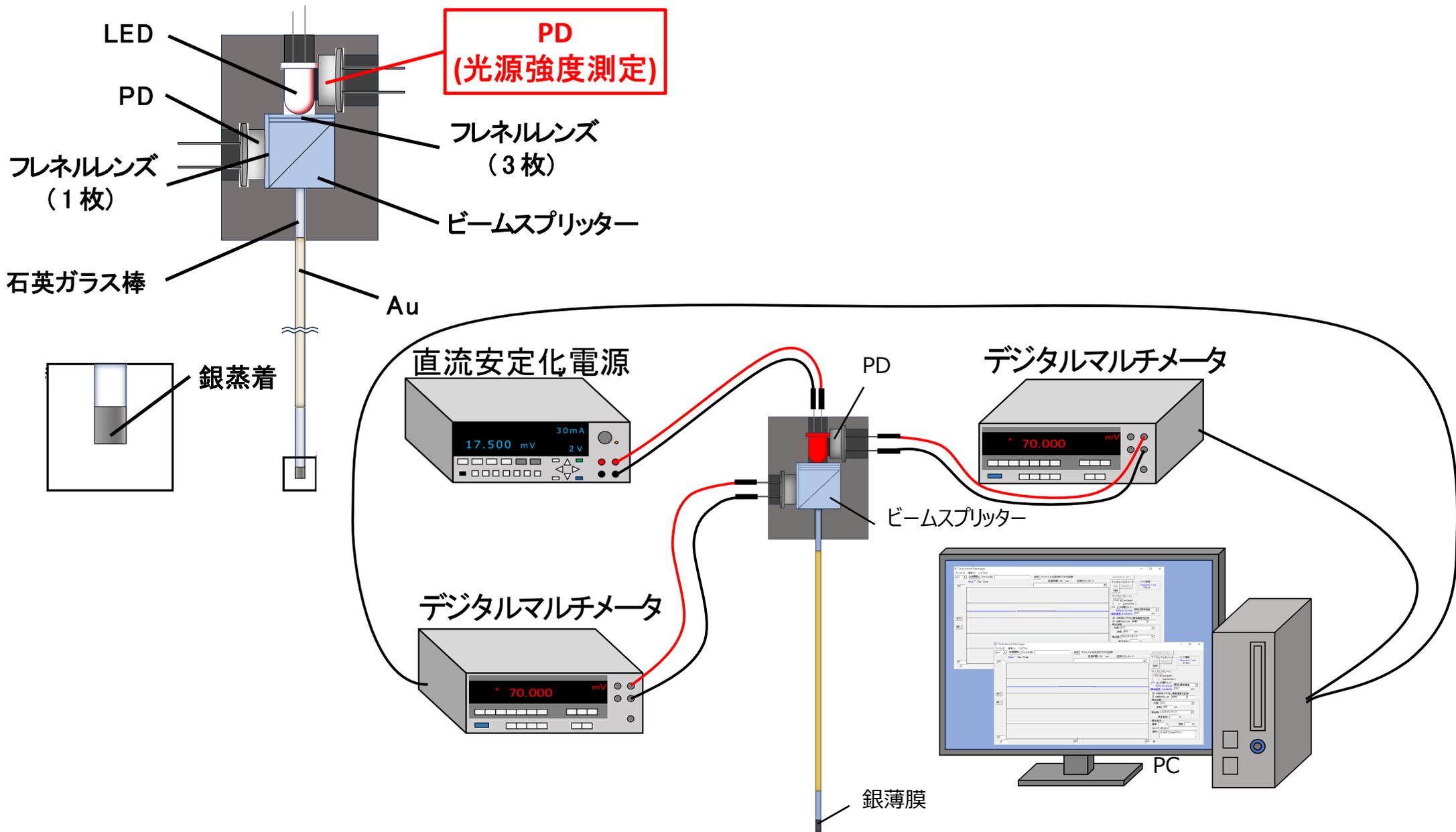
学校の教材や販促グッズに使えるくらい  
安価で扱いやすいものにしたい！

→学生の科学離れを  
防げないか

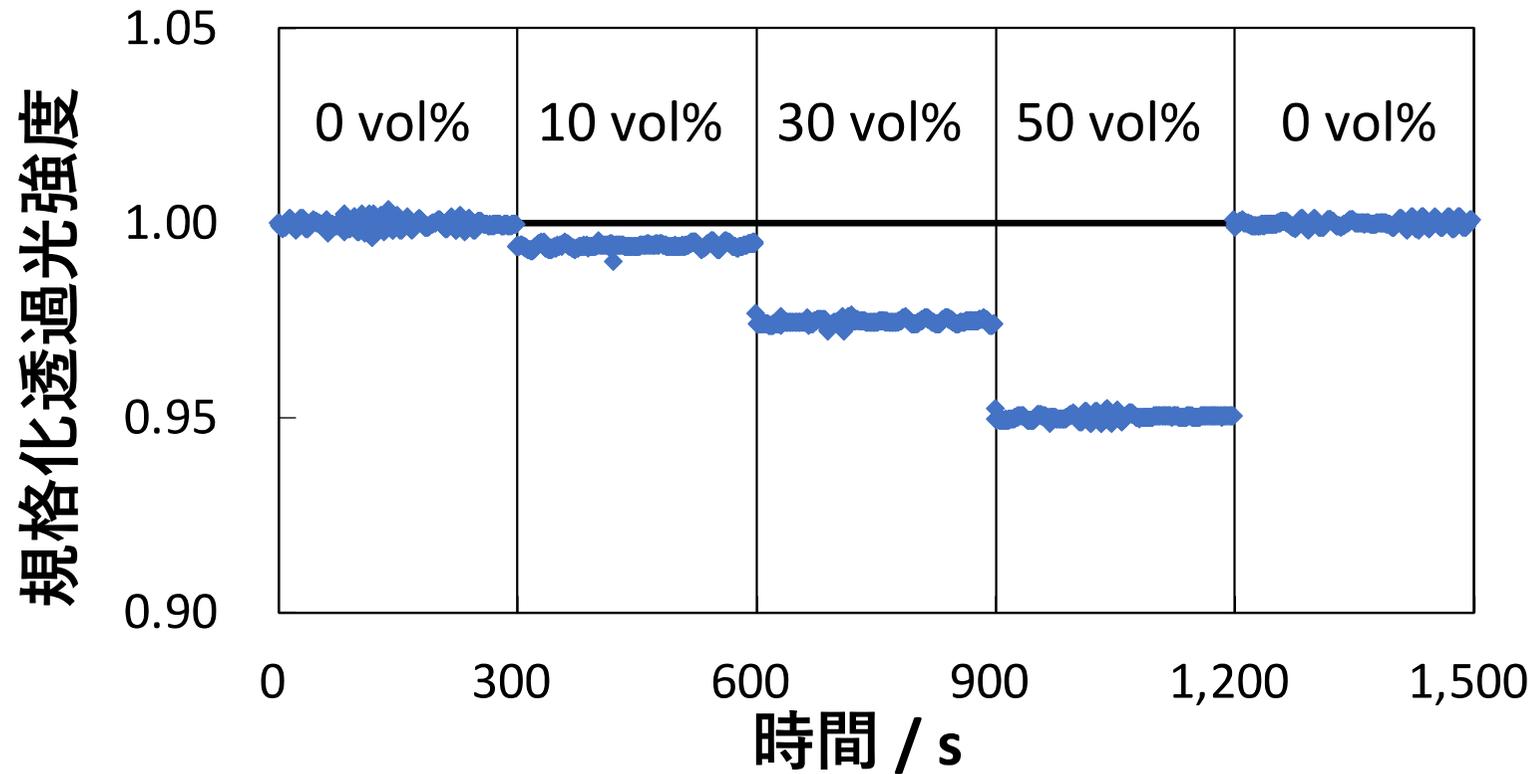


研究は、特定の栄養素濃度の選択的な測定と  
センサーの小型化の二つを並行している

# センサーの小型化の試み

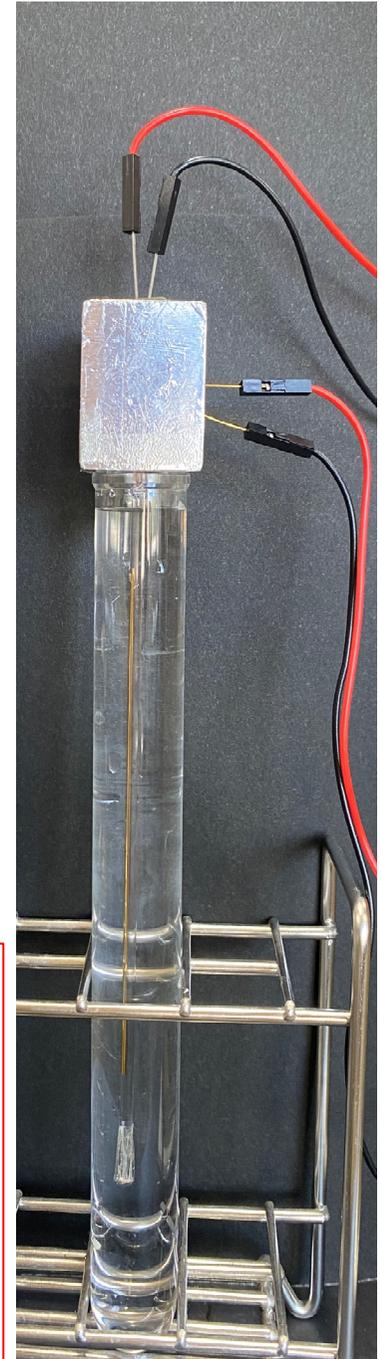


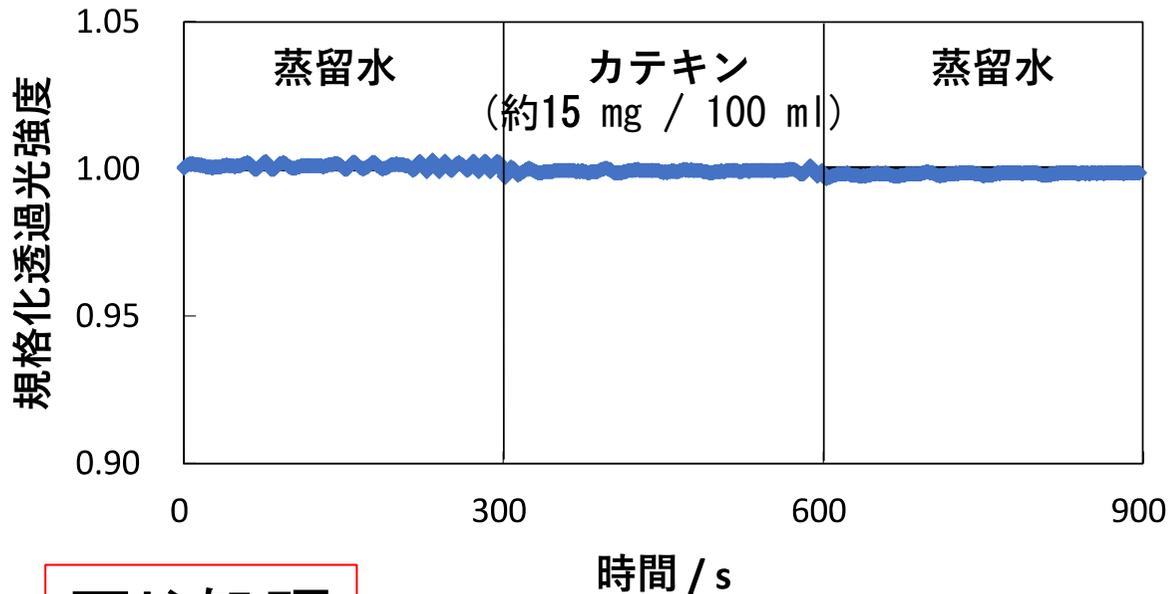
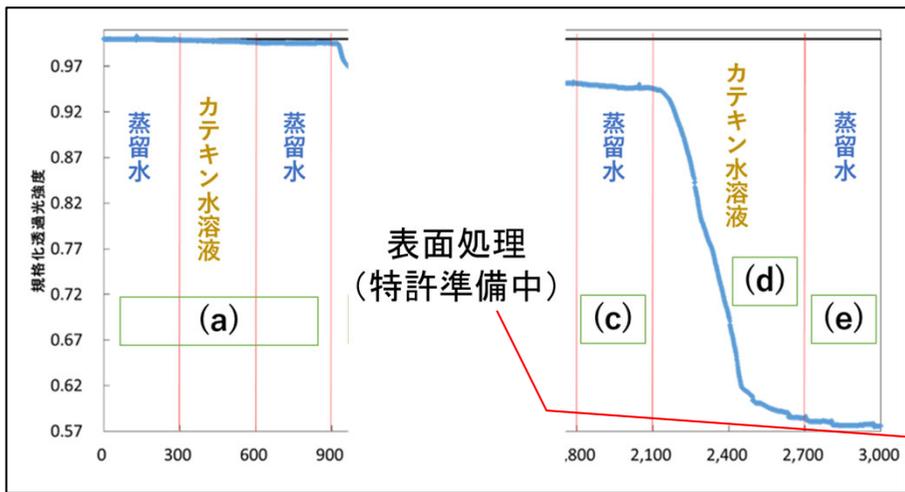
3Dプリンタによる試作機の開発



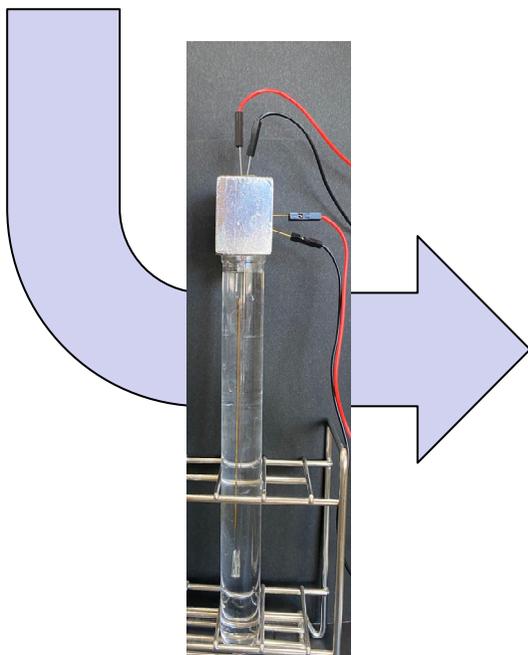
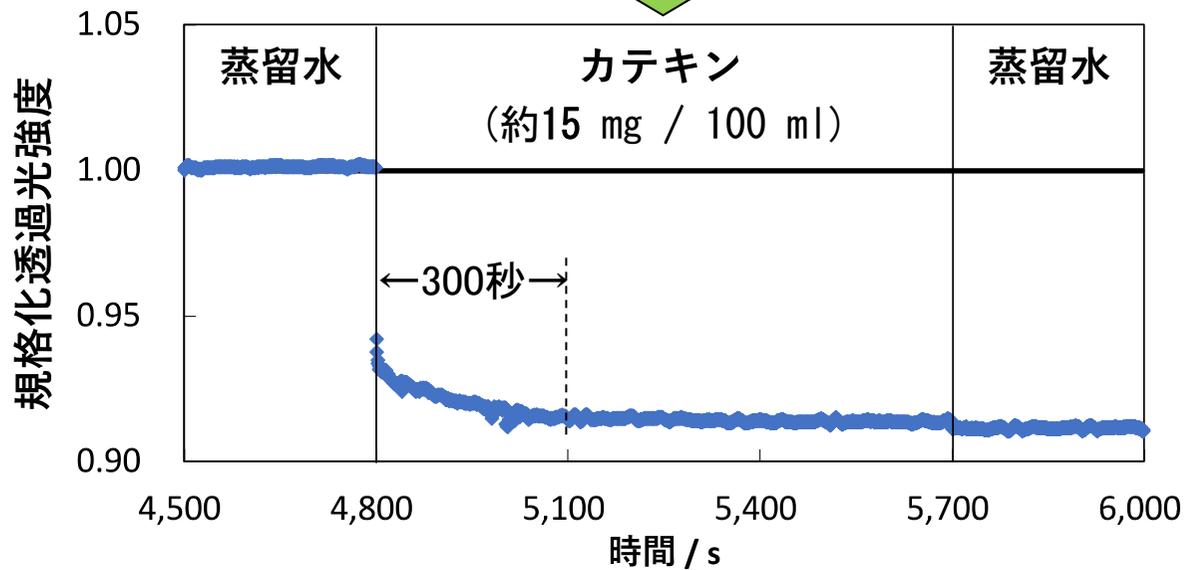
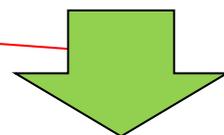
### エタノール水溶液に対する応答

- ・光学系の設計がまだ甘いため、S/N比と応答の安定性が悪い  
しかし、アルコール濃度に対応した応答がみられた
- ・このセンサーを用いて、カフェインやポリフェノールの濃度測定を試みる
- ・最終的には電源、光量(電圧)計など、必要なものをすべてハウジングに納める。欲を言えば**インスタ映えしそうなかわいい感じで!**



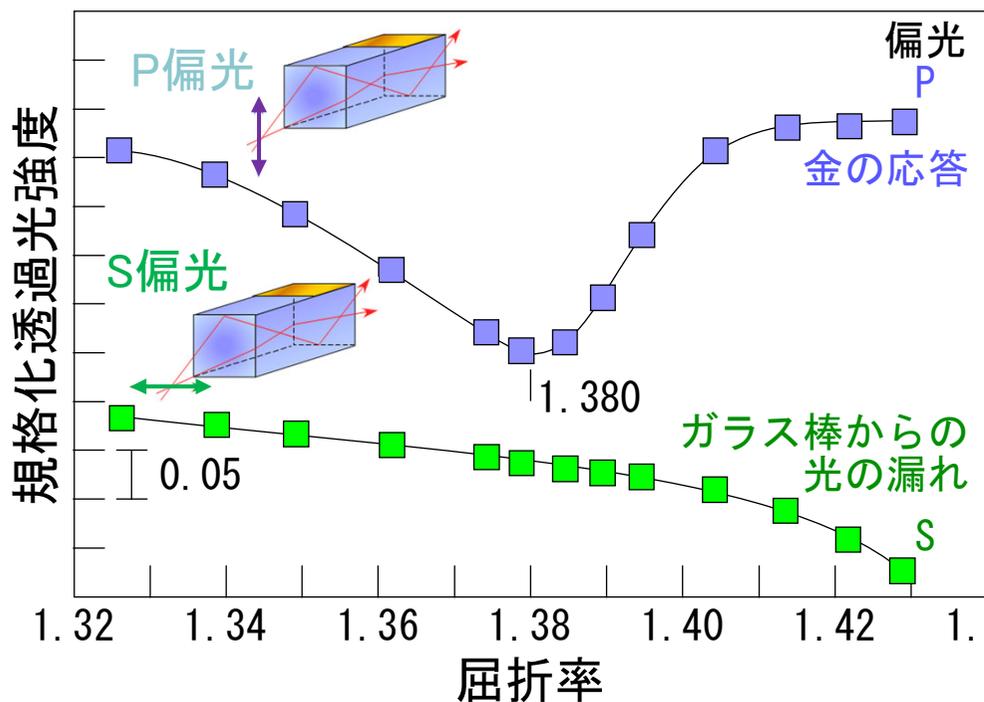
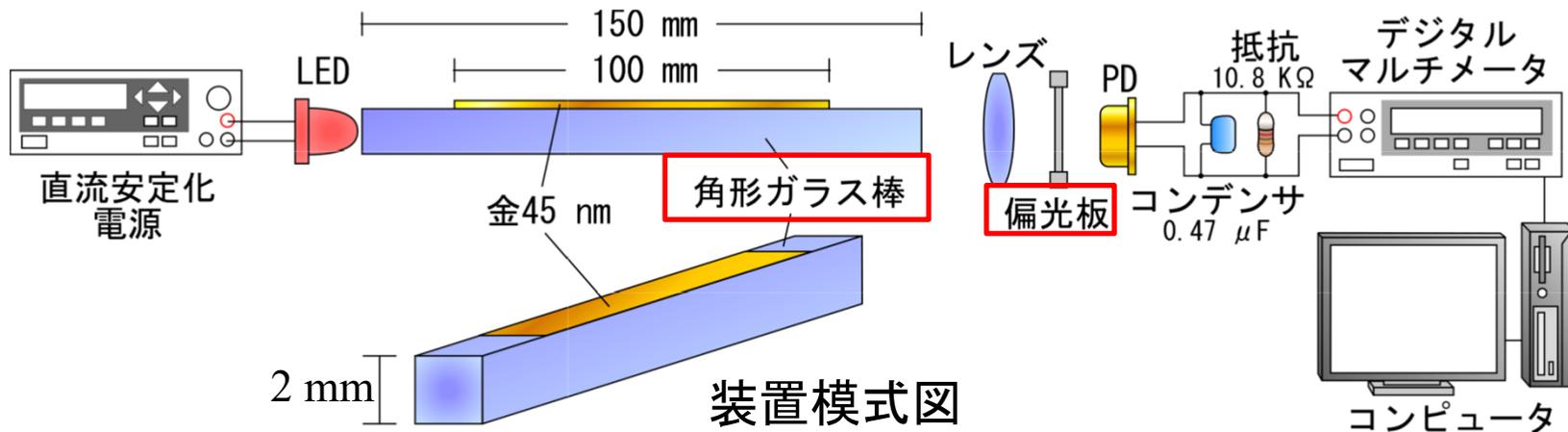


同じ処理

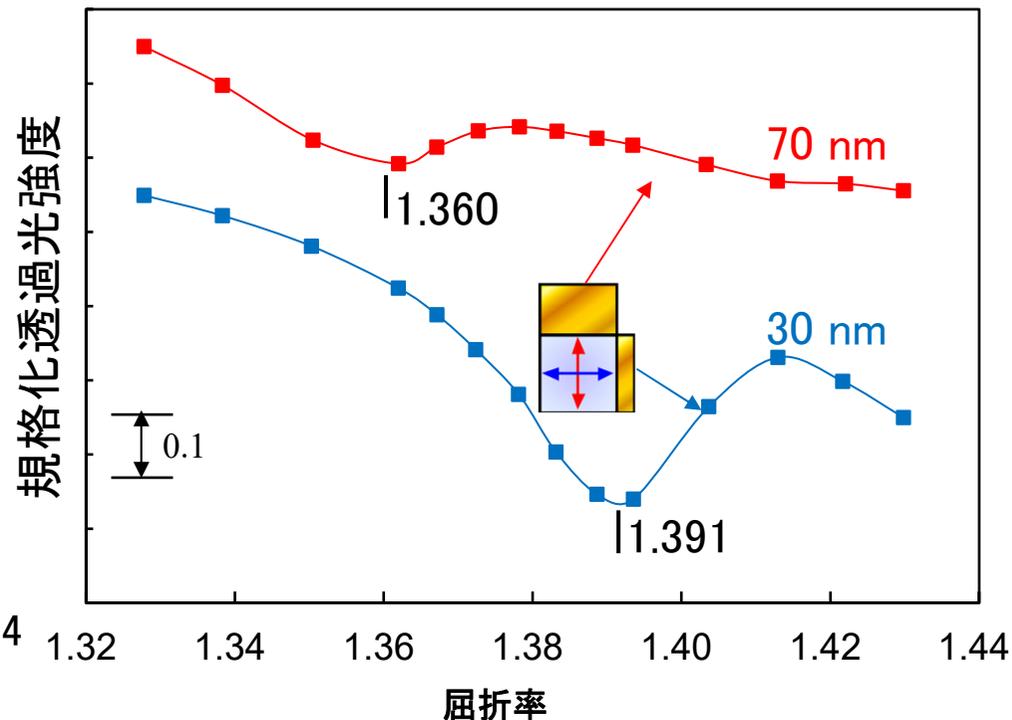


小型センサーによるカテキンの測定

# 光学を駆使したセンサーの高性能・多機能化



SPR応答とリファレンスを同時に取得

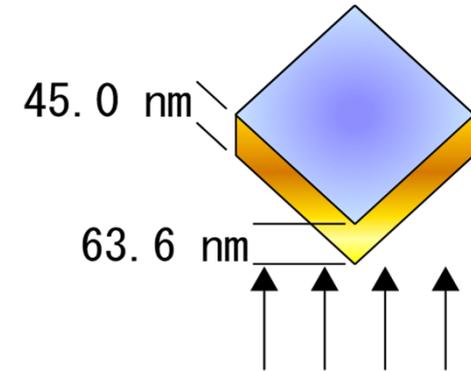


一つのセンサーで複数の応答を取得

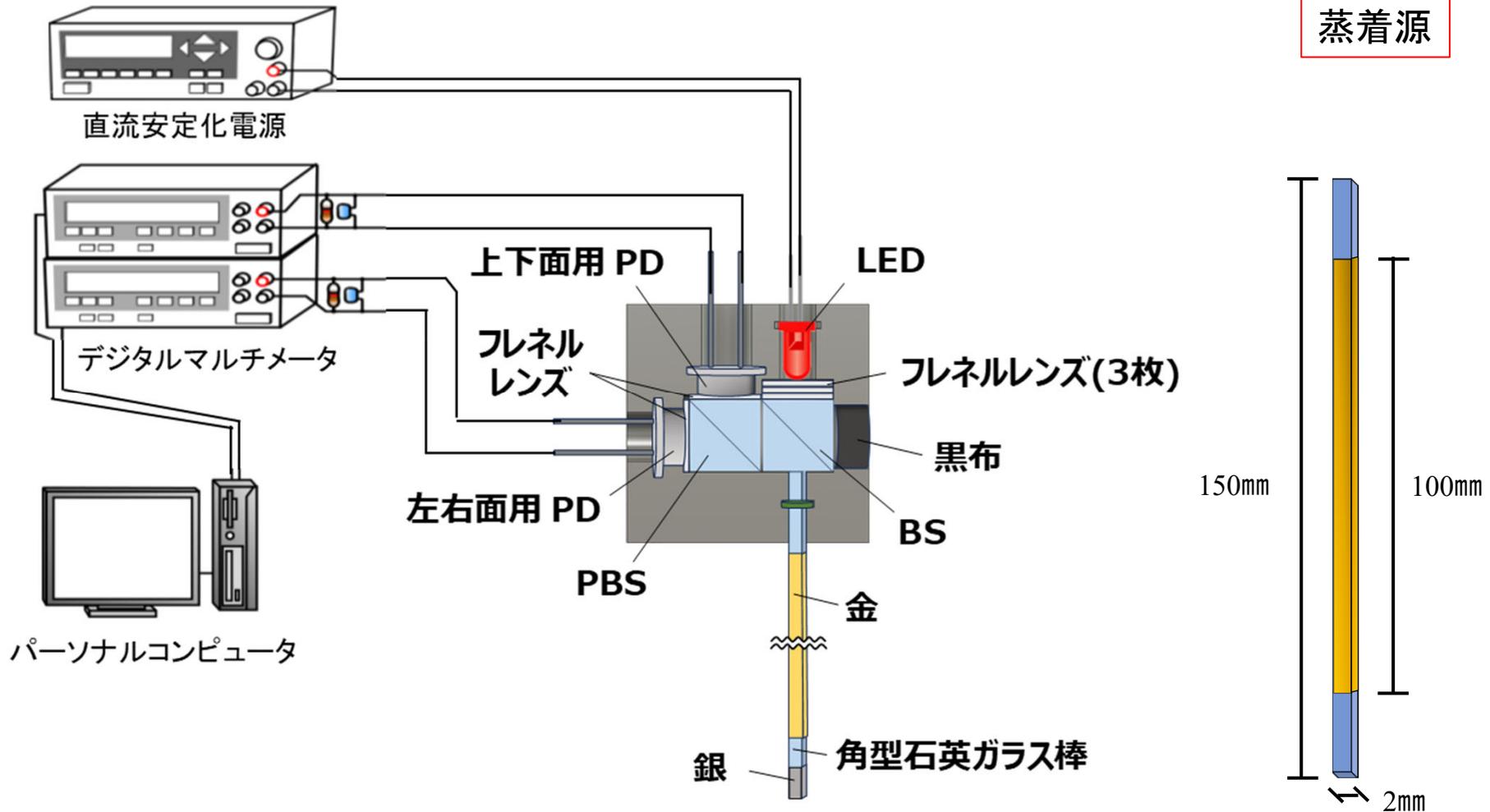
「屈折率測定装置及び屈折率測定方法」、特願2016-166544(2016年8月29日)、PCT/JP2017/029871(2017年8月22日)  
「濃度測定装置及び濃度測定装置の製造方法」、特願2023-217745(2023年12月25日優先権出願)

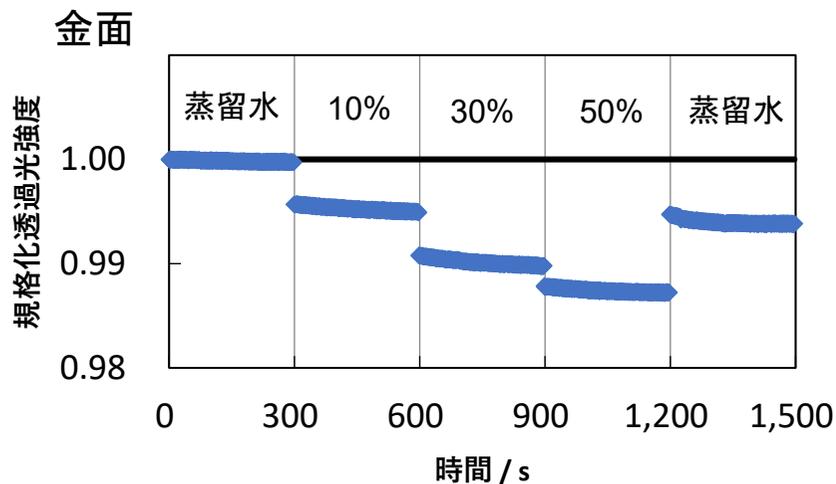
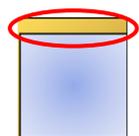
## 隣接した二面の同時蒸着方法

角型ガラス棒を45° 傾けて対角線上に45 nmの $\sqrt{2}$ 倍; 約63.6 nmの膜厚の金を蒸着することで、各面には厚さ45 nmの金層が形成された。

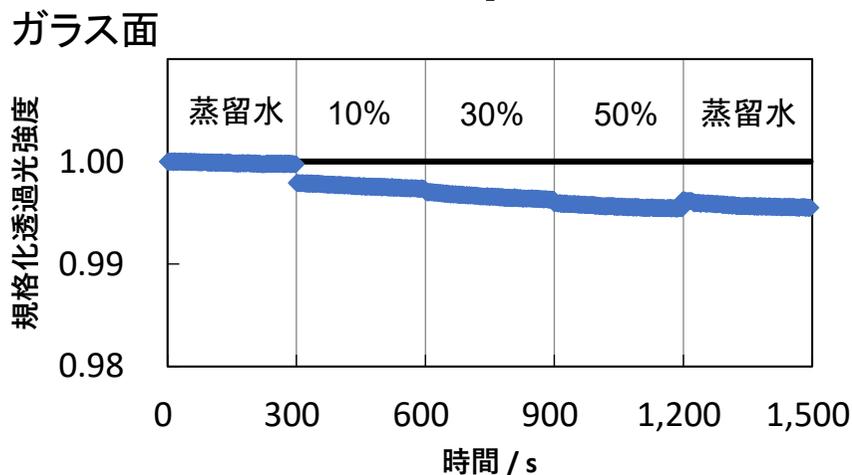
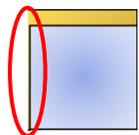


蒸着源



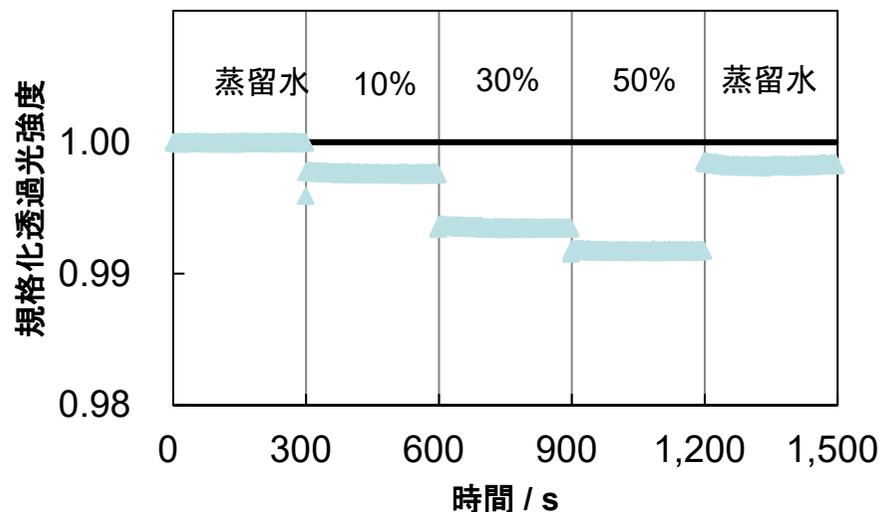


÷



金面 ÷ ガラス面 (金無し) の系で  
光源等の変動を相殺できる

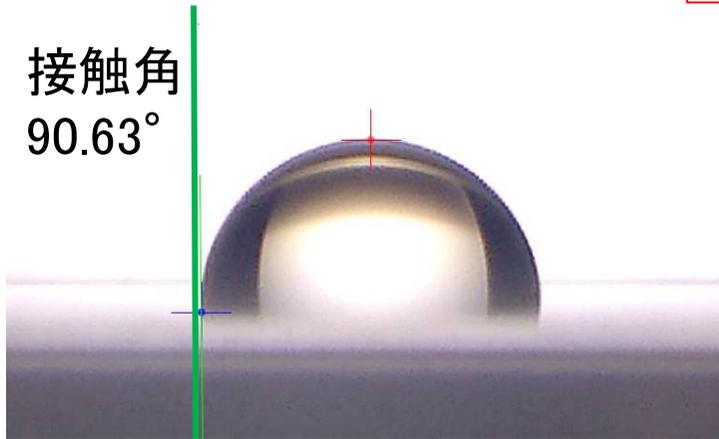
金面のSPR応答



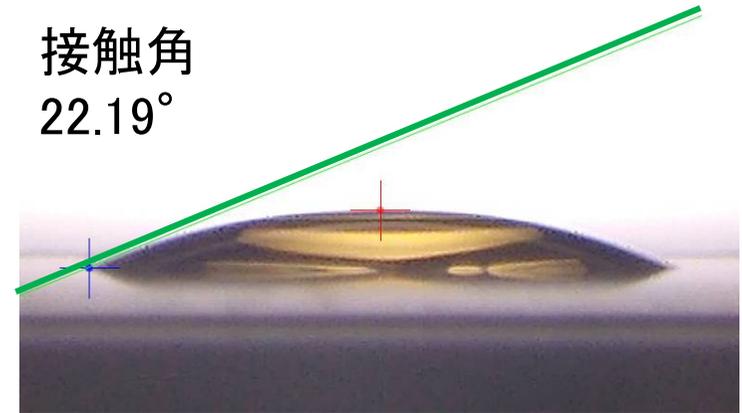
この構成においては、光源の揺らぎとSPRではない臨界角の変化による  
ガラス棒からの光の漏れを相殺することができる

## 金属表面の特性の制御

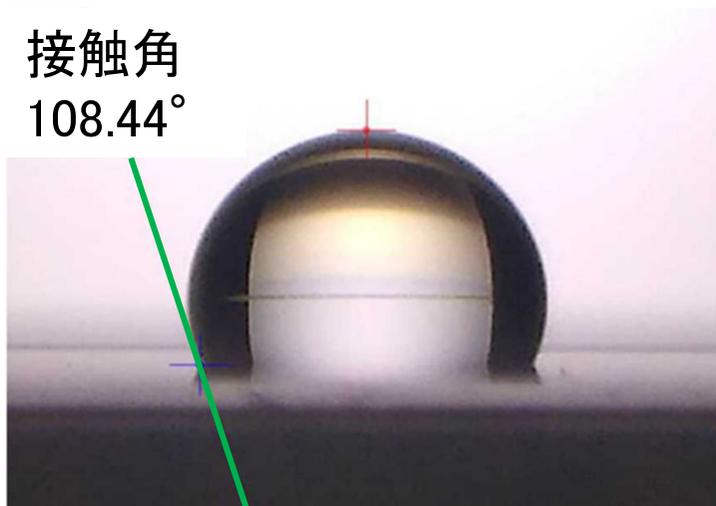
接触角: 材料表面に水滴を落としたときの  
水滴の縁の角度 小さいほど親水性



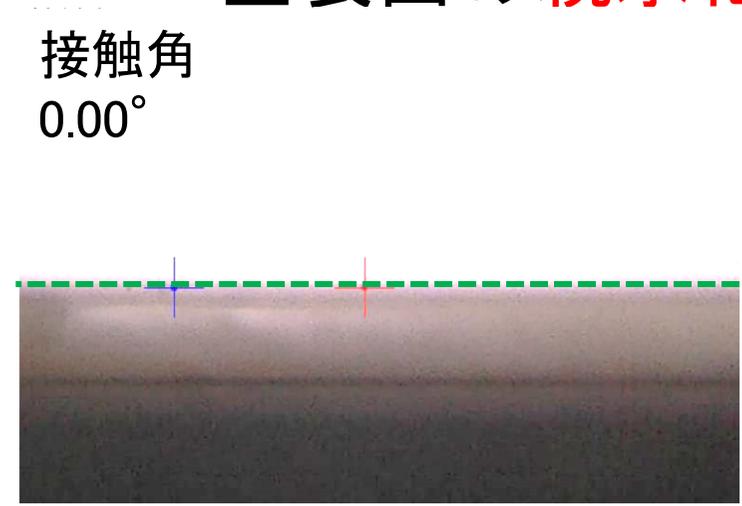
無処理の金



金表面の親水化



金表面のはっ水化



金表面の超親水化

様々な処理を施すことで、**金表面の特性をコントロール**できる

**そのほかの技術** 金属表面の特性制御

# 想定される用途

- 手軽に栄養成分を測ることによる健康管理やダイエットのサポート
- 河川や海洋などの環境の監視
- 医療診断
- 安価でセンサーシステムが作れることを利用した販促品や教育教材
- 化学センサーは選択膜層を変えることで測定対象を柔軟に変更することができるため、これ以外にも広い範囲に適用することができる

# 実用化に向けた課題

- 現在、装置のアッセンブリー化を試みているが、安全やメンテナンス性を考慮した設計に至っていない。
- 石英棒をポリカーボネートに変えるなど、さらなるコストダウンと安全性を向上させる。
- 様々な栄養素、金属イオンなどを対象にした選択膜を探索または開発し、応用範囲の拡大を目指す。

# 企業への期待

- 情報の表示などについて、組み込み型のプログラムの技術がないため未解決である。
- 量産を考慮に入れた小型化について協力やアドバイスを期待している。

# 企業への貢献、PRポイント

- 精度を落とすとコストダウンや小型化も可能になるため、必要最小限の性能に絞ることで使い捨てやシステムのオプションによる高機能化など、細かいニーズに応えることができる。
- センサー工学と分析化学の二つの視点から研究を進めることができ、センサーの開発と科学的裏付けを同時に行うことができる。

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：屈折率測定装置及び屈折率測定方法
  - 出願番号：特願2016-166544（特許第6801893号）
  - 出願人：鹿児島大学
  - 発明者：肥後 盛秀、満塩 勝
- 
- 発明の名称：濃度測定装置及び濃度測定装置の製造方法
  - 出願番号：特願2023-217745
  - 出願人：鹿児島大学
  - 発明者：満塩 勝

# 産学連携の経歴

## ○共同研究

- 2004年-2006年 1件
- 2006年-2009年 1件
- 2008年-2012年 1件
- 2019年-2021年 1件
- 2024年- 1件進行中、1件見込み

## ○JST事業

- 2009年-2011年 JSTシーズ発掘試験
- 2012年-2013年 JST A-STEP【FS】ステージ

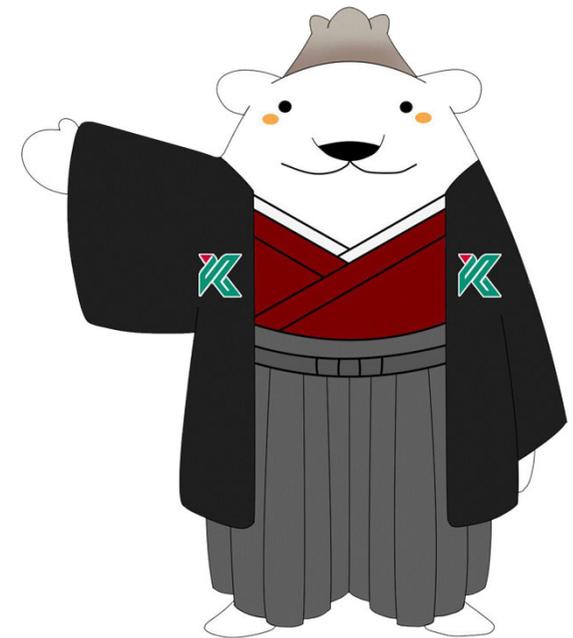
## ○その他

- 技術相談、説明会 4件
- 技術移転 2件

# お問い合わせ先

国立大学法人 鹿児島大学  
南九州・南西諸島域イノベーションセンター  
知的財産・リスクマネジメントユニット

〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-40  
TEL: 099-285-3881  
FAX: 099-285-3886  
E-Mail: [tizai@kuas.kagoshima-u.ac.jp](mailto:tizai@kuas.kagoshima-u.ac.jp)



鹿児島大学公式マスコットキャラクター

さっしん