

光ファイバによる ウェアラブル小型酸素センサ

創価大学 理工学部 情報システム工学科
助教 細木 藍

背景技術

酸素【O₂】

- ★水耕栽培における植物の成長速度や収穫量のコントロール
 - ★クリーンエネルギーである水素燃料使用時
- 酸素の利用分野は多岐にわたる

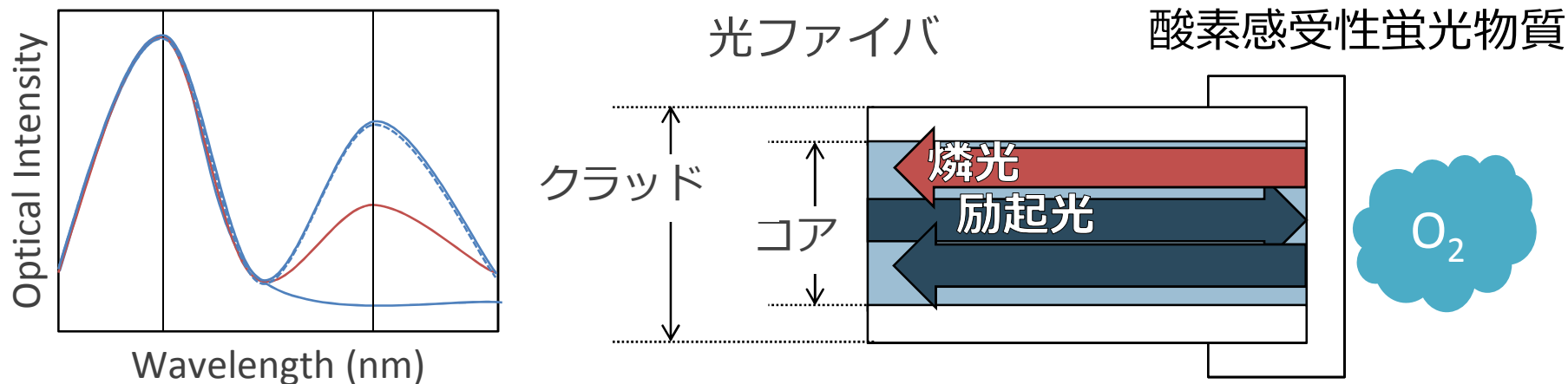
化学電気式酸素センサ(ガルバニ電池式酸素センサ)

- ★酸素濃度に比例した電流を計測
- ★電解液の蒸発, 経年劣化のため交換が必要

光ファイバ型酸素センサ

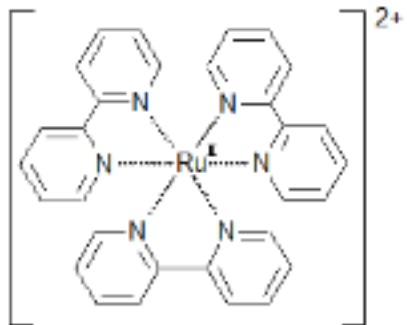
- ★酸素濃度に比例した光強度を計測
 - ★センサ部に電氣的接点を持たない
- 酸素の助燃性に対し, 発火の危険がなく安全

背景技術



蛍光スペクトルの消光特性を計測することで酸素濃度を決定

ルテニウム錯体: 酸素感受性蛍光物質として利用される



- ✦ 波長450 nm付近の青色光に励起され、波長620 nm付近の赤色の蛍光を放出する
- ✦ 蛍光は酸素によって消光する
- ✦ Ru錯体の濃度が一定の場合、消光は酸素濃度に依存する

従来技術とその問題点

従来の光学式酸素センサは、多孔質な層をキャスト法により形成するため、

- ・膜厚の制御が困難
- ・光ファイバーの端面等の小面積な領域に多孔質な層を形成することが困難

→多孔質層に固定される酸素感受性蛍光物質の量を制御することが困難であり、酸素に対し所望の感度を得ることが難しい

新技術の特徴

- 交互に積層層法による積層数を変えることにより、多孔質体層の膜厚を容易に制御可能である。
- 酸素感受性蛍光物質の量を容易に制御することができるため、酸素に対する感度を容易に制御可能である。

製膜方法の決定

ゾルゲル法

従来研究において発光物質の固定に利用されている

膜厚のむらが大きく出るため、センサ開発の再現性を維持するのが困難

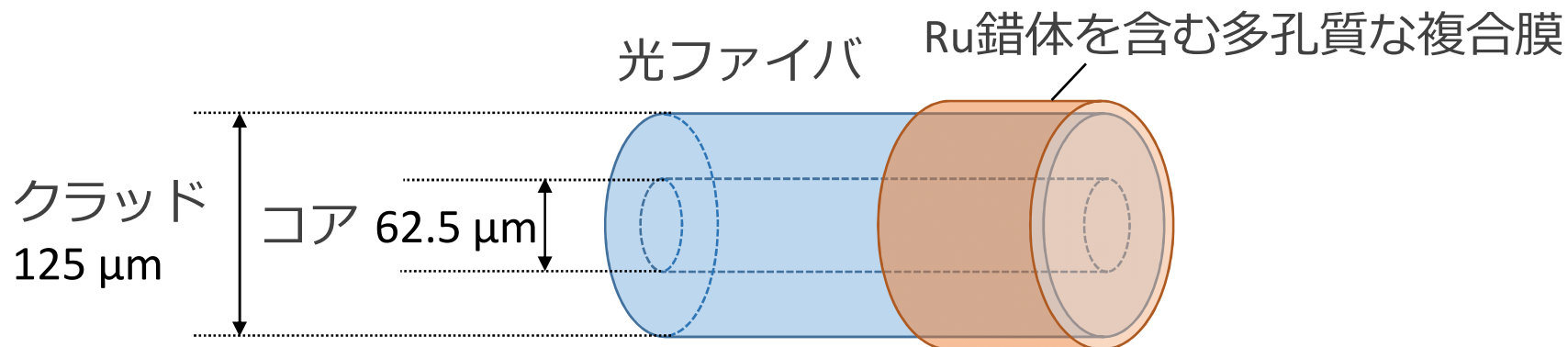
交互積層法

ゾルゲル法に比べ、膜の形成が簡便で、再現性を期待できる。

イオン結合によって積層されるため、膜が均一に形成されると考えられる

効率、再現性の良い膜の調整手法として、
交互積層法を採用

提案する光ファイバ型酸素センサ



★ GI型MM光ファイバ

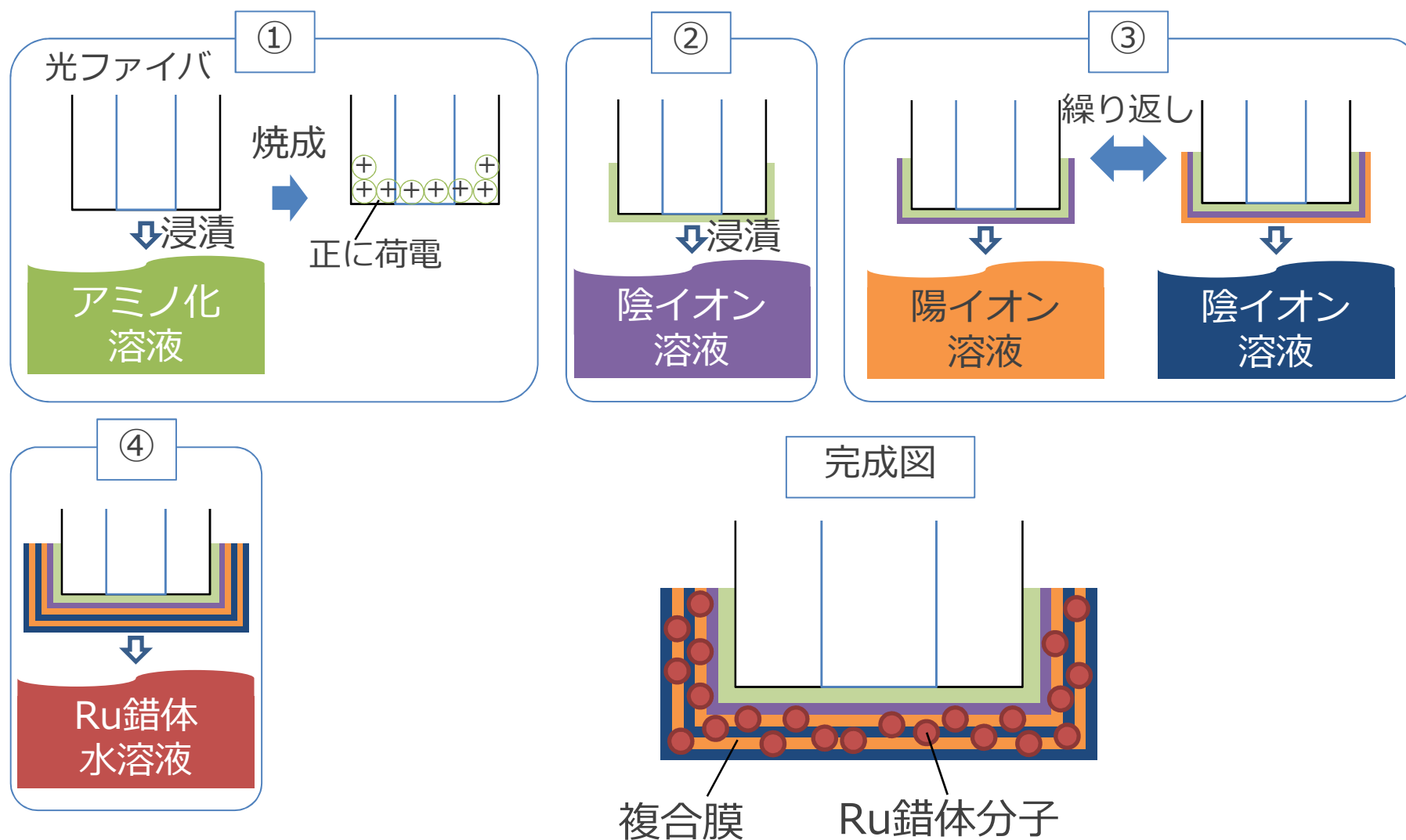
- コア径：62.5 μm
- クラッド径：125 μm

★ 光ファイバ先端に複合膜を用いてRu錯体を固定

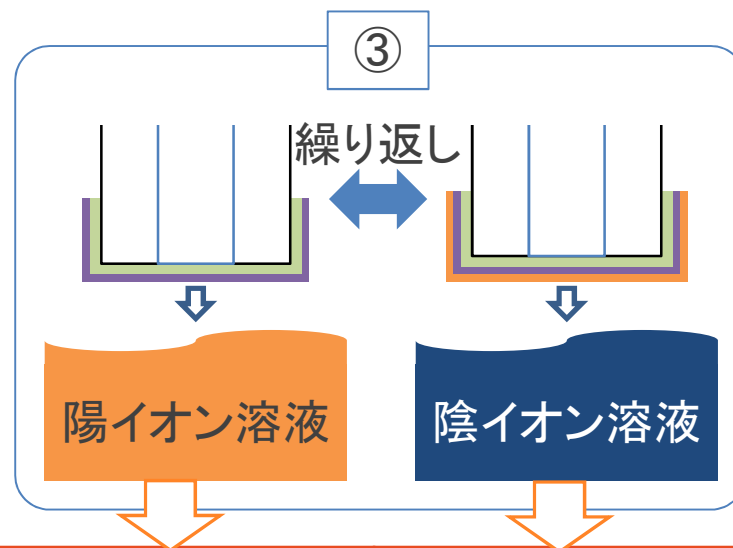
→多孔質微粒を含む複合膜を交互積層により形成し、Ru錯体やPt錯体等といった酸素感受性蛍光物質を複合膜中に固定化することで、酸素による消光特性を得ることができる。

交互積層法によるRu錯体の固定

交互積層法：イオン結合によって交互に層を重ね、複合膜を形成する手法



交互積層法 -素材-



			補足
センサ1	ポリリジン	ポリグルタミン酸	吸湿性高分子ポリマー
センサ2	ポリアリルアミン	ポリアクリル酸	吸水性高分子ポリマー
センサ3	ポリアリルアミン	ガラスビーズ	多孔質複合膜

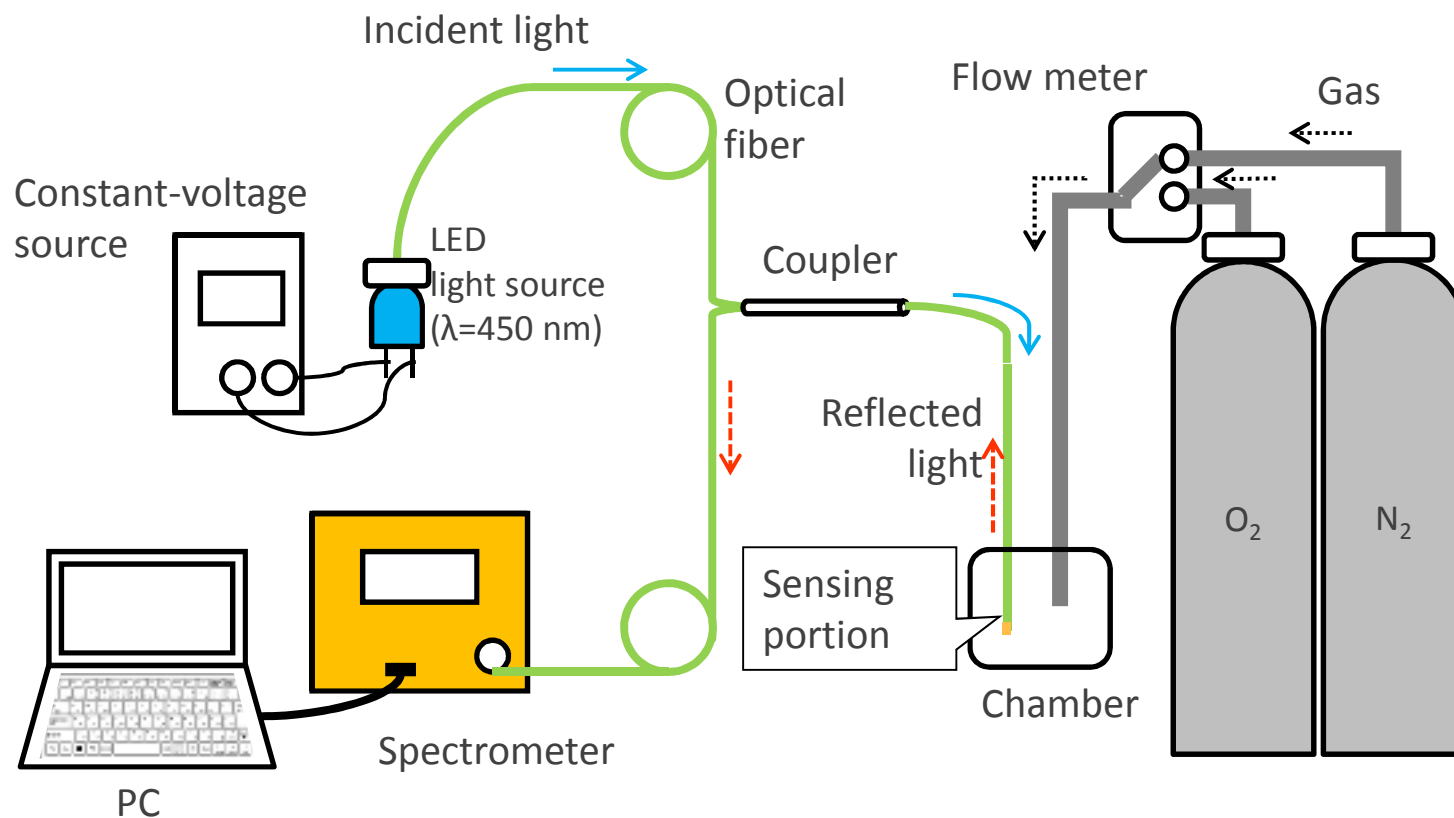
【多孔質微粒子】
 たくさんの孔があり表面積が大きい
 →Ru錯体分子を多く固定できる

多孔質ガラスビーズ



多孔質ガラスビーズの例 (Schott Glaswerke 社)
 藤吉宣男: "化学と生物", Vol. 31, No. 1, p.64 (1993)

膜素材の検討



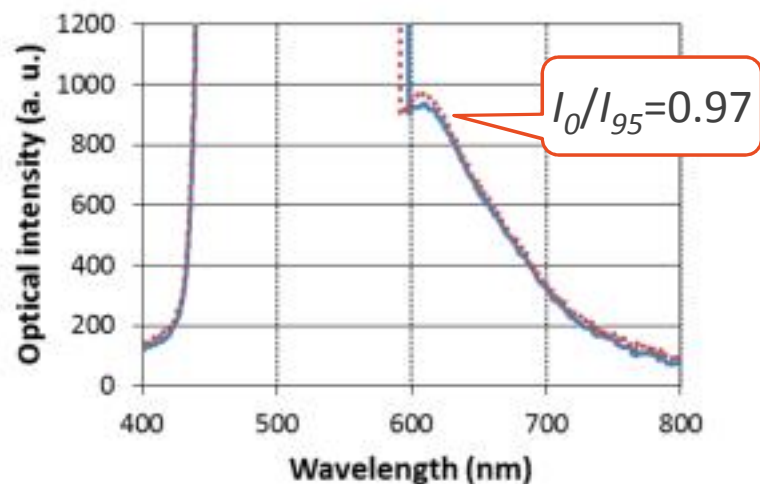
- 濃度
- 窒素：100%
 - 酸素：95%以上

計測条件

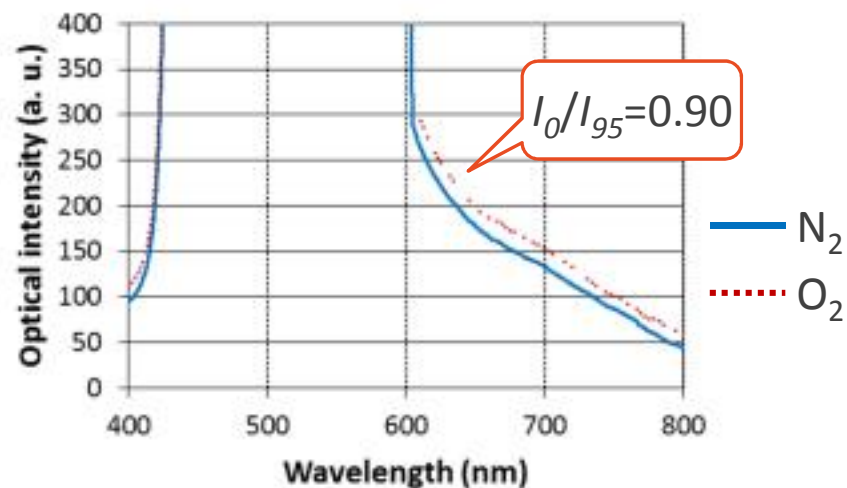
- ✦ コア径 $62.5 \mu\text{m}$ のGI型MM光ファイバを用いて，素材の異なる3種類のセンサを検討
- ✦ 容器へ窒素または酸素を流入し，容器内を十分満たしてから計測

素材別反射スペクトル

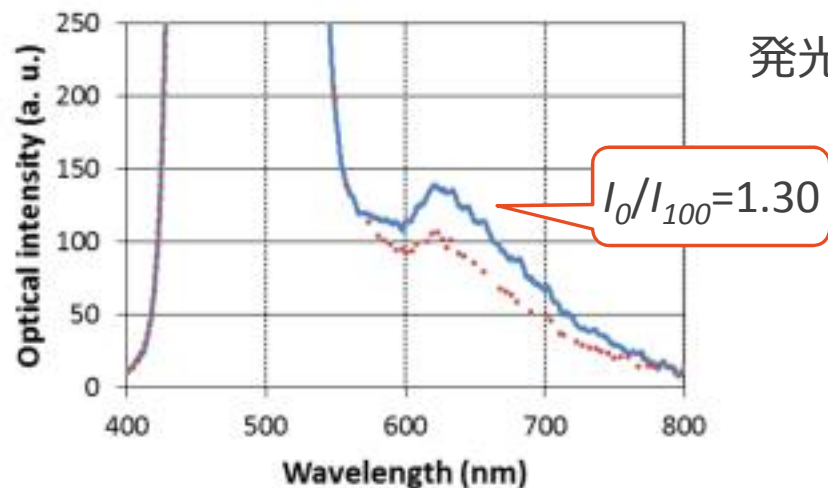
センサ1



センサ2



センサ3

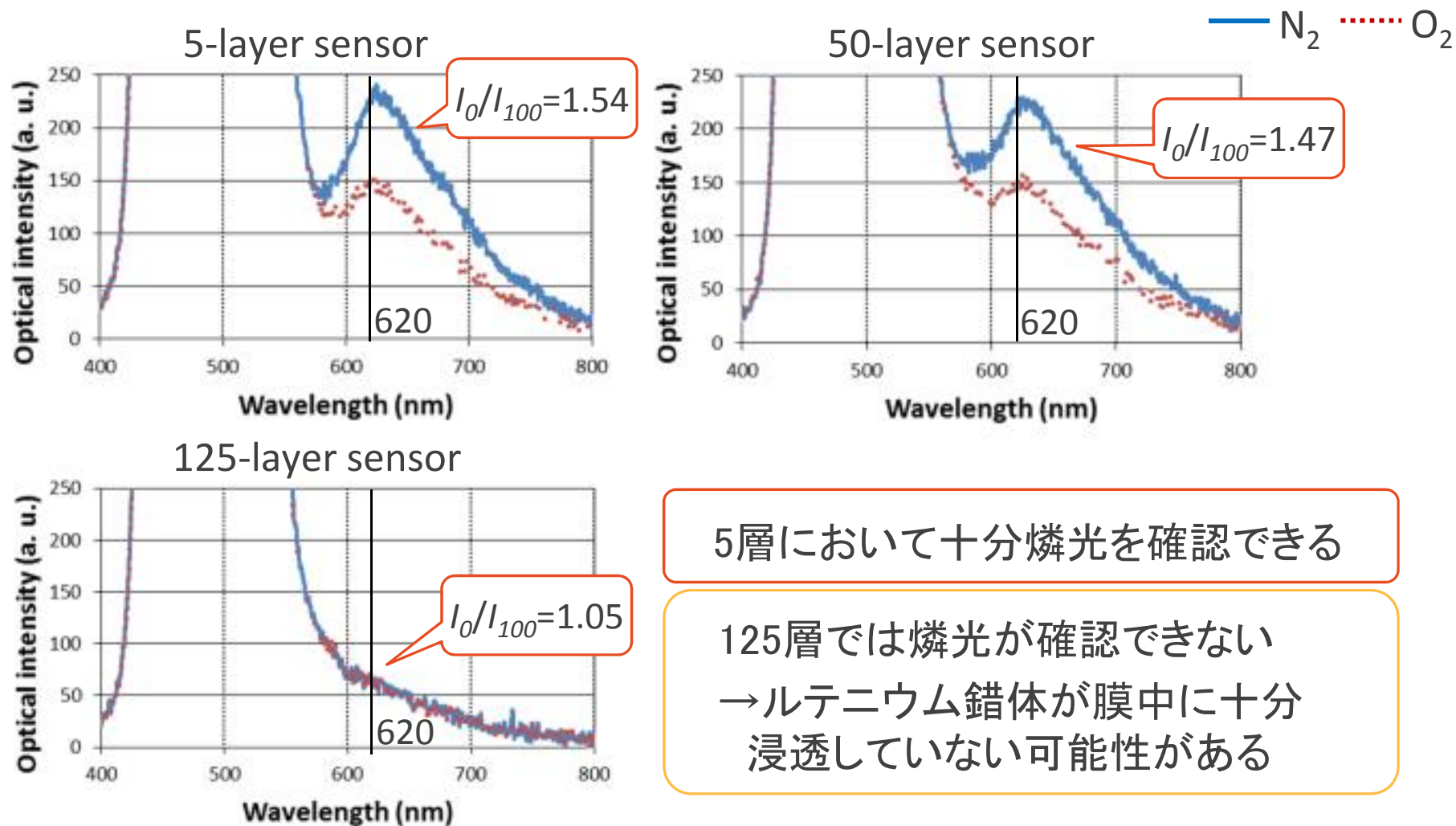


I_0/I_{100} : 酸素雰囲気0%と100%の光強度の比
発光物質を用いた酸素センサの感度の指標となる

多孔質複合膜(センサ3)

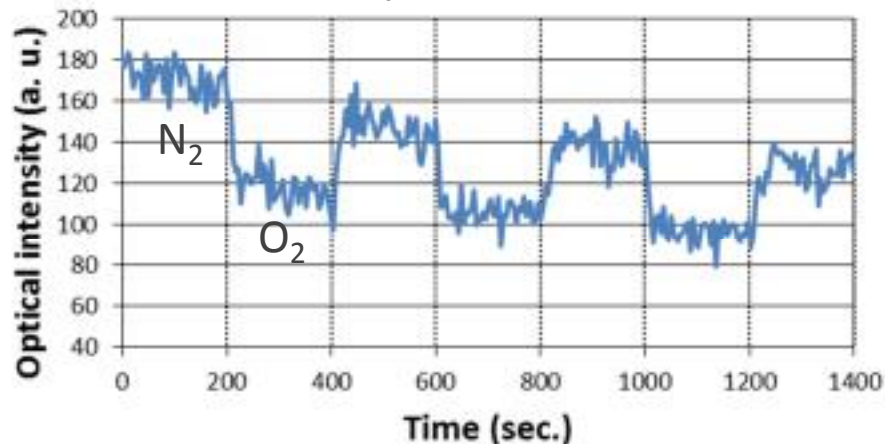
- ◆ 燐光を捉えるのに十分な量のRu錯体を固定できる
- ◆ 膜中のRu錯体に酸素の消光効果を与えやすい

膜の積層数に対する検討

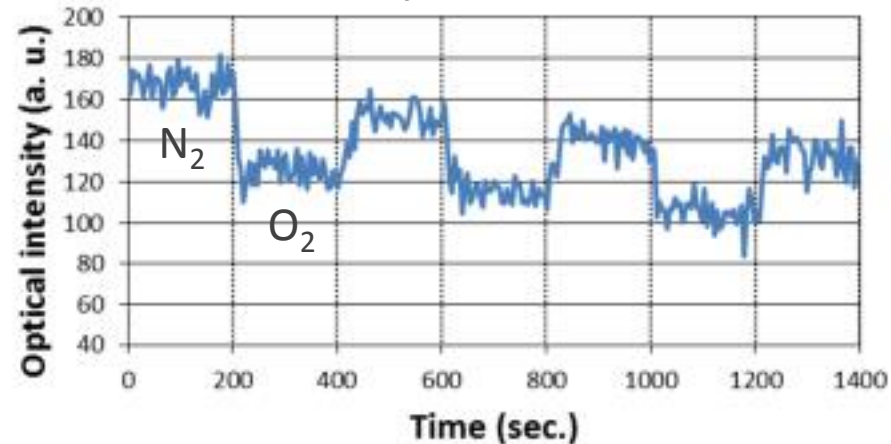


波長620 nmの燐光強度の推移

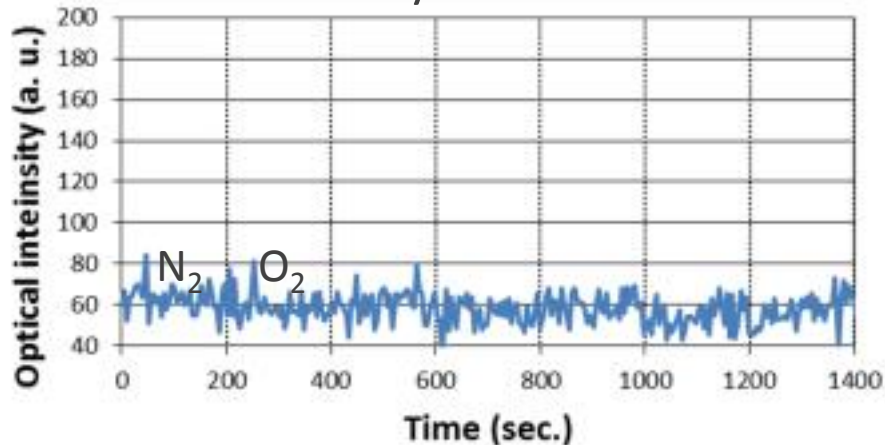
5-layer sensor



50-layer sensor



125-layer sensor



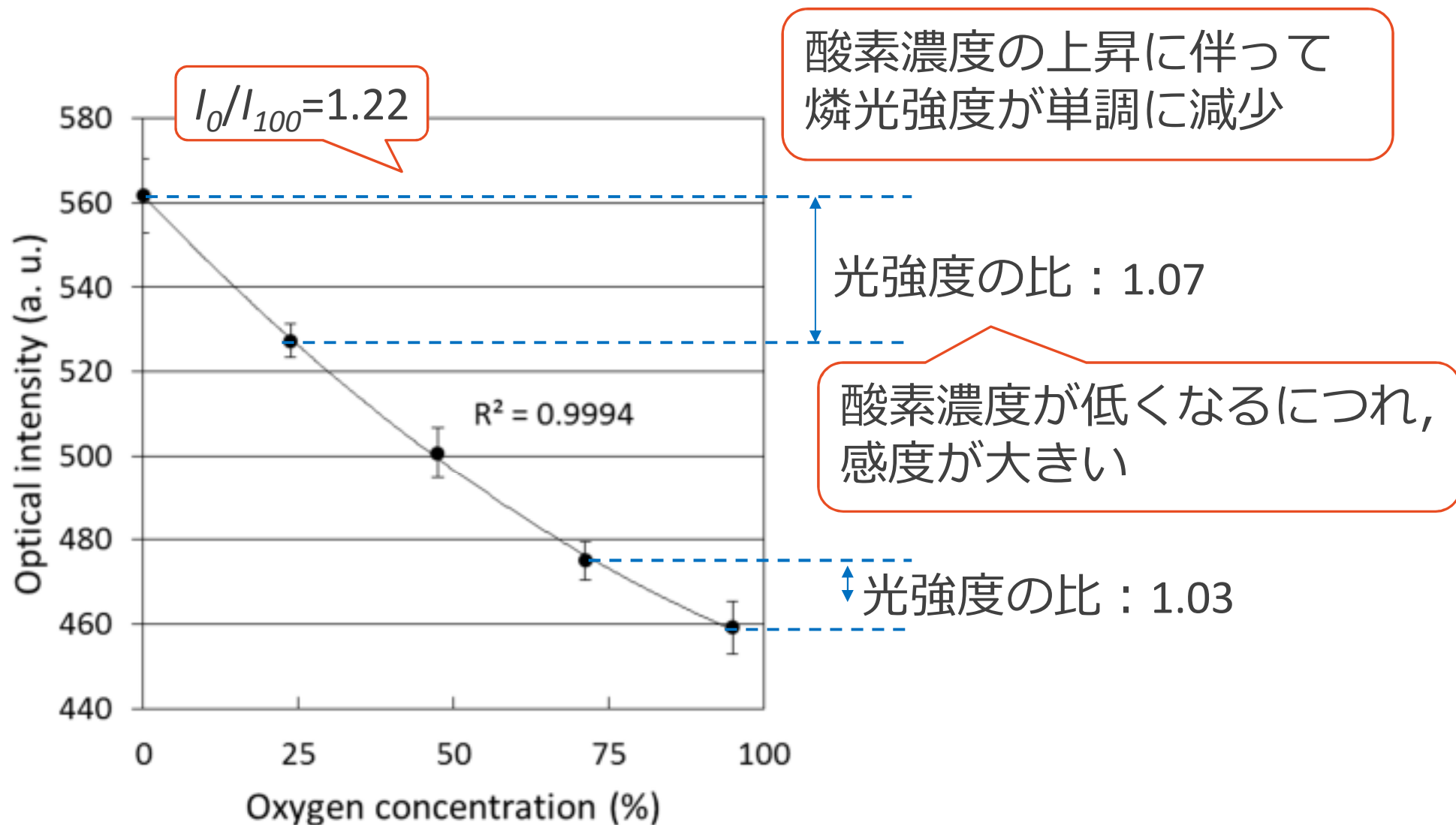
測定波長: 620 nm
サンプリング周波数: 0.20 Hz

5層, 50層: 繰り返し応答

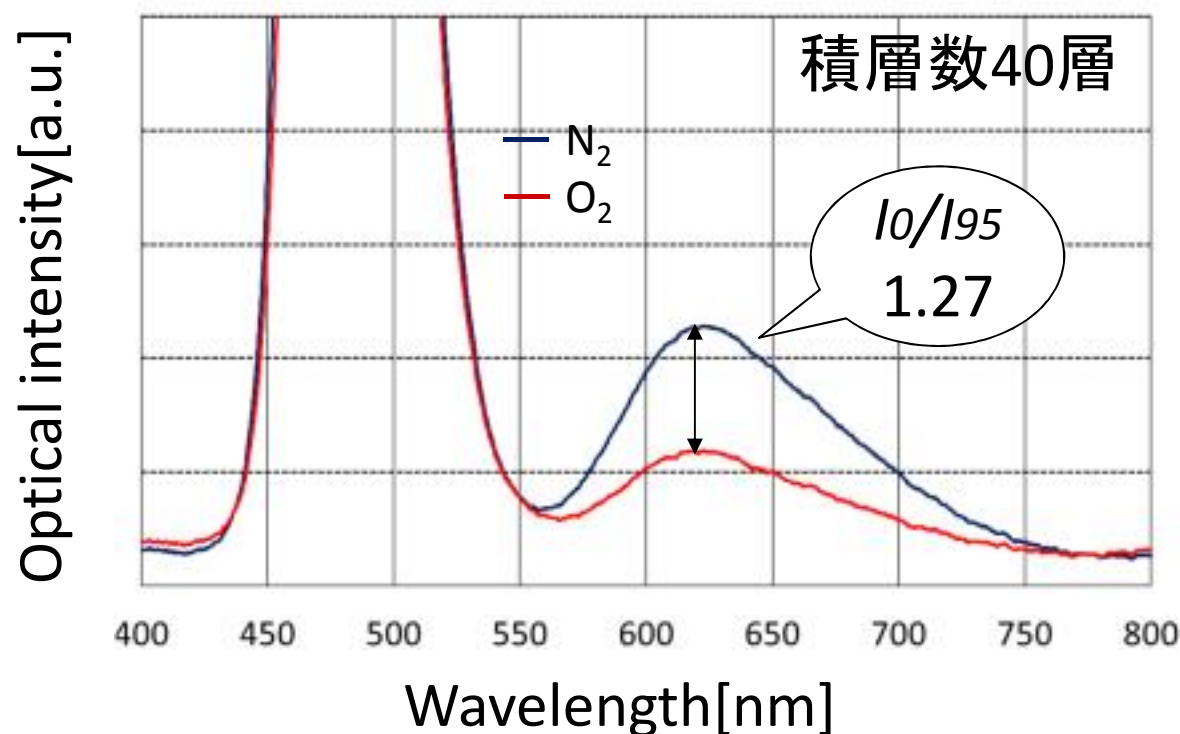
125層: 燐光強度に変化なし

単一波長における光強度で
酸素の有無を確認できる

酸素濃度に対する燐光強度変化



セルファイブによる多孔質複合膜を用いた 光ファイバ型センサ



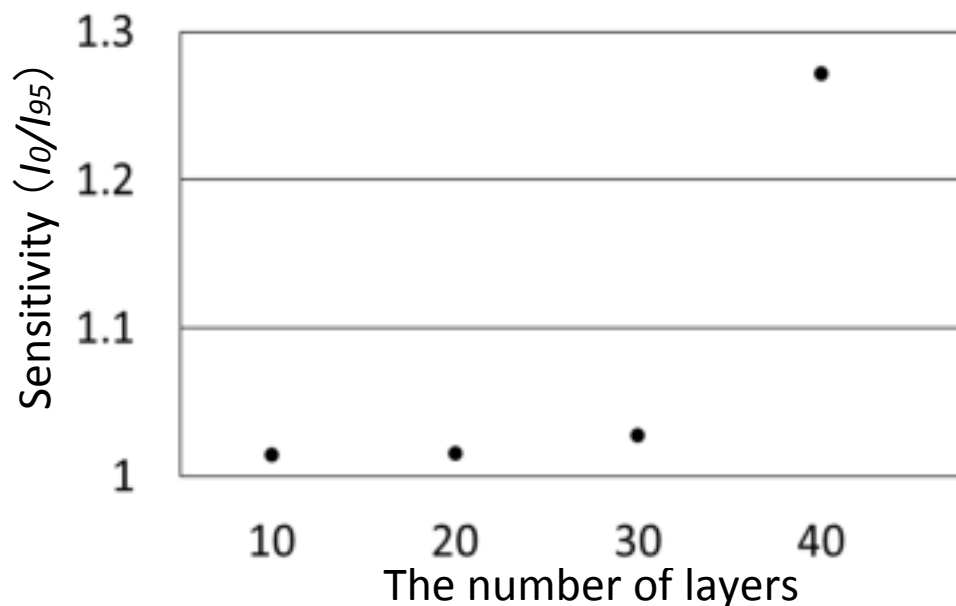
酸素に対する感度 (I_0/I_{95})
 ➔ 酸素雰囲気0%と95%の
 光強度の比

酸素雰囲気下で燐光強度が低下
 ➔ Ru錯体の消光特性を確認

積層数が増えると消光が大きくなる
 ➔ 消光度合は積層数に依存

酸素に対する感度

感度 (I_0/I_{95}) : 酸素雰囲気0%と95%の光強度の比



- 積層回数の増加に伴い、酸素に対する感度が上昇
- 積層数40層で酸素に対する感度が最大
 ➔ 積層数40層が消光を得るのに有用な膜厚

想定される用途

- 本技術の特徴は、細径、柔軟、軽量である光ファイバを利用しているため、小型なセンサ作成が可能であると考えられる。
- 小領域での検知が可能となるため、培養器の酸素濃度管理や人工呼吸器などの濃度管理などの分野に展開することも可能と思われる。

まとめ

- 通信用マルチモードファイバによる小型酸素センサを実現した。
- 多孔質なガラスビーズをファイバ端面に固定化し、Ru錯体を含ませることで、酸素濃度に対して単調に変化する消光特性を示した。
- ガラスビーズ以外の多孔質微粒子として、セルファイブを用いてRu錯体を固定化したセンサでも酸素に対して消光特性を示すことを確認した。

実用化に向けた課題

- 現在、短距離での酸素に対する燐光、消光特性が計測可能なところまで開発済み。
→センサの再現性、安定性、温度、湿度、他の化学物質の影響などを検証する必要がある。
- 酸素に対する感度向上を目指し、多孔質微粒子を含む複合膜の種類を検討をする必要がある。

企業への期待

- 今後、耐久性や感度向上に対する検討に向けて、多孔質微粒子を含む複合膜の種類として、材料化学への知見を持つ企業との共同研究を希望。
- ウェアラブルで小型なセンサを作成できるため、医療や福祉サービス分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 光学式酸素センサ及びその製造方法
- 出願番号 : 特願2015-092653
- 出願人 : 創価大学、株式会社コアシステムジャパン
- 発明者 : 渡辺一弘、西山道子、細木藍、関篤志、伴さゆり、佐々木博幸

お問い合わせ先(必須)

創価大学 理工学部 情報システム工学科

細木藍

TEL : 042-691-9400

FAX : 042-691-9400

E-mail : ahosoki@soka.ac.jp

タマティーエルオー株式会社

研究成果移転事業部

松永義則649-8462

TEL : 042-570-7240

FAX : 042-570-7241

E-mail : tech@tama-tlo.com