

微生物の活動に伴うアコースティック・ エミッションの測定方法

埼玉大学

大学院 理工学研究科人間支援・生産科学部門

教授 蔭山 健介

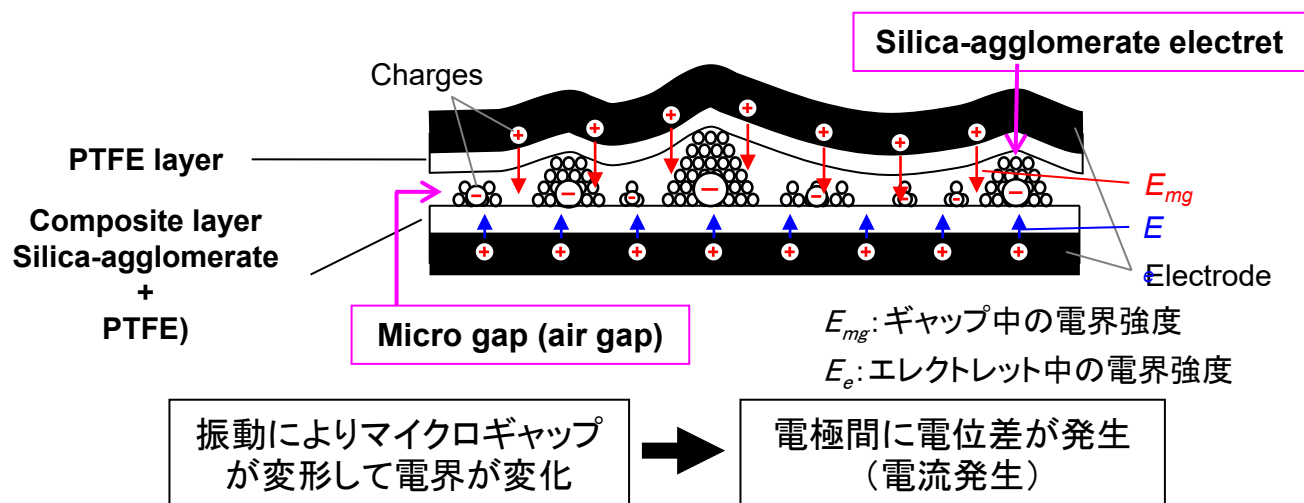
2022年9月15日

研究背景(本技術に関連する研究成果)



エレクトレットセンサ Electret condenser sensor (ECS)

静電気を帯びたフィルムを積層した素子



触れるだけで微小な音や振動を検出できるセンサ

- 素子を直接接触・押し付け可能 (マイクの素子は接触不可)
- 強固な固定は不要 (加速度センサは強固な固定が必要)
- 1Hzから200kHzまで測定可能 (マイクや加速度センサより広帯域)

研究背景(本技術に関連する研究成果)

音響放射(AE)で、見えない植物の動きをとらえて、
リアルタイムで可視化する



AE: Acoustic Emission
(アコースティック・エミッション)
突発的な事象で生じる振動・音響・超音波



AEセンシングを用いて、作物の健全性の診断が可能

研究背景

AEセンシングで微生物の動きをとらえられるのでは？

微生物

酵母の
発酵

CO₂発生



ラン藻の
光合成

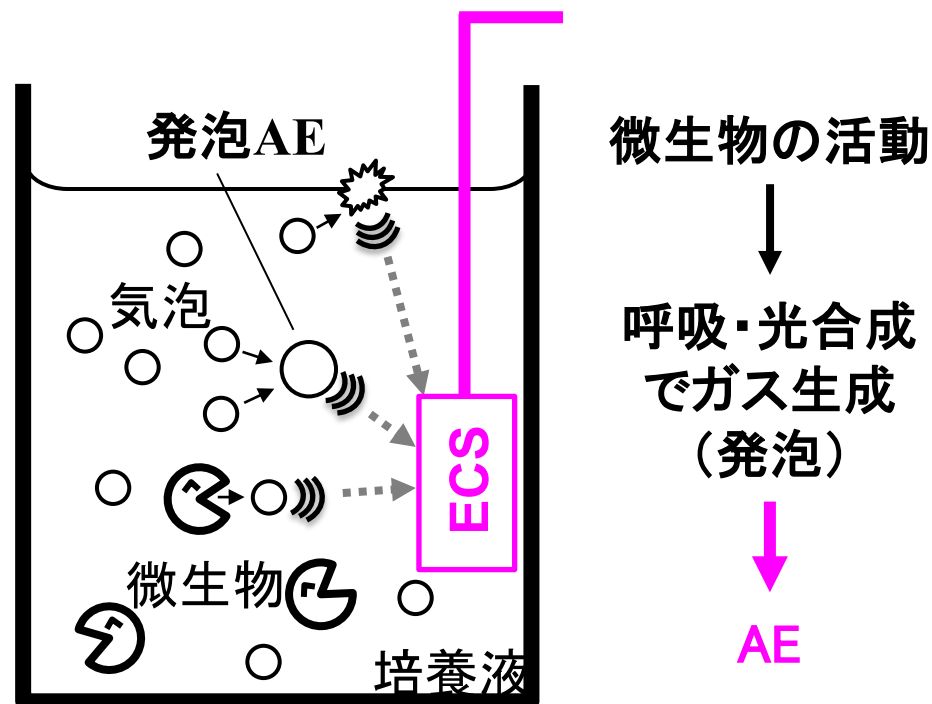
O₂発生



微生物の活動に伴いガスが生成される

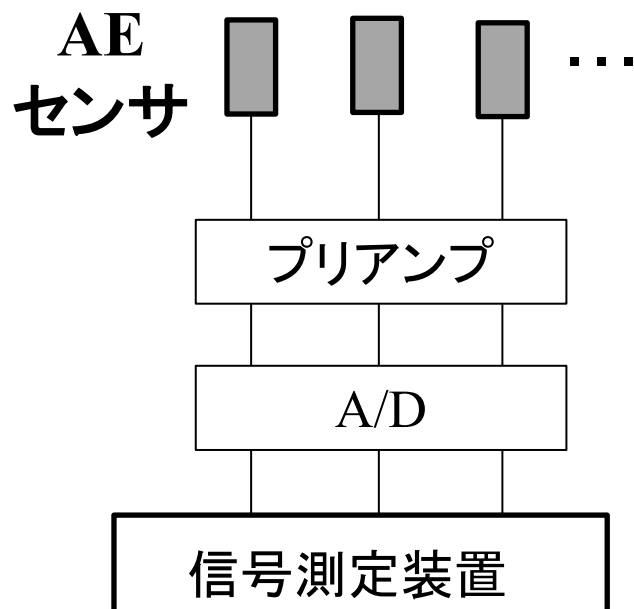


気泡の生成・合体・分離・消滅
(AEも生じる)

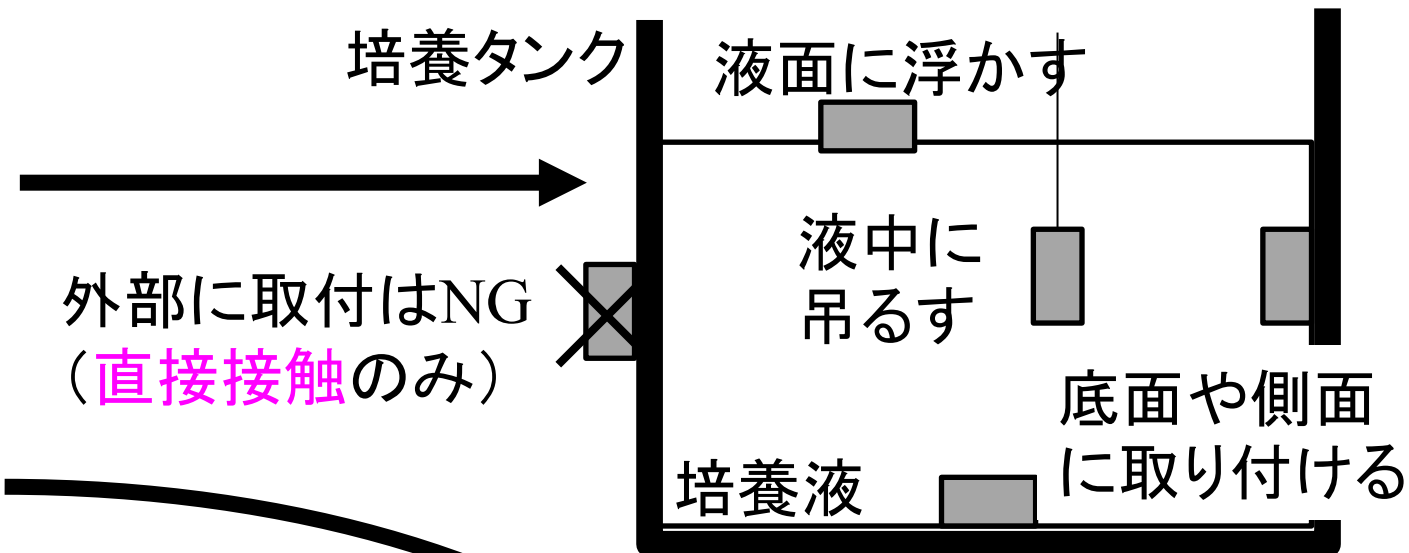


微生物AEの測定方法

測定系の概念図



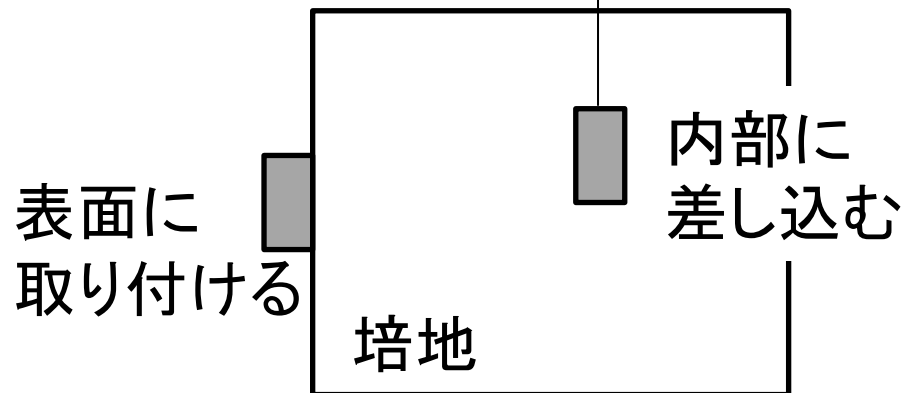
培養液の場合



- センサを培養液や培地に直接接触させる。微生物の呼吸・光合成・発酵などの化学反応により生成するガスの突発的な拡散に伴うAEを検出する。

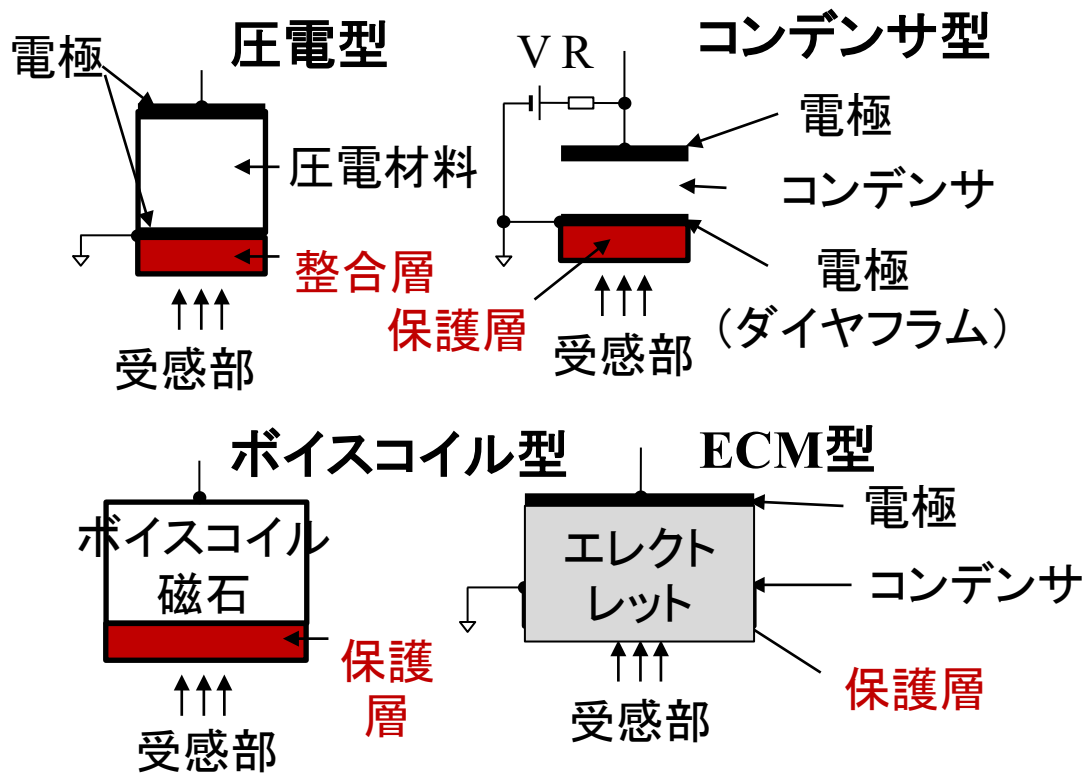
気泡核生成と消滅(発泡), 培地の剥離

培地の場合

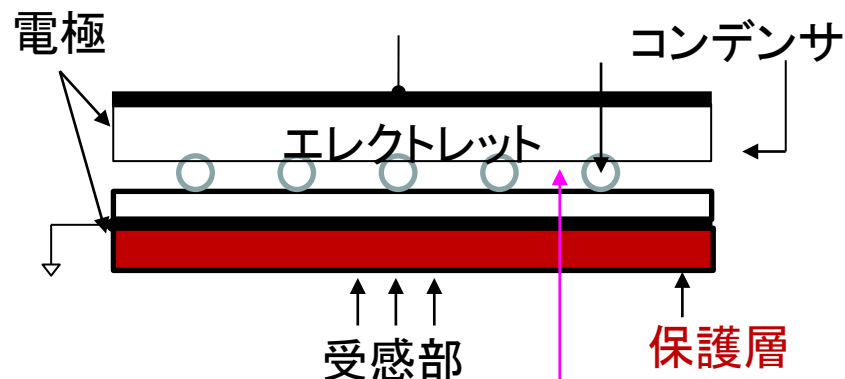


微生物AE測定に用いるセンサ

従来技術のセンサ



エレクトレットセンサ Electret Condenser sensor ECS

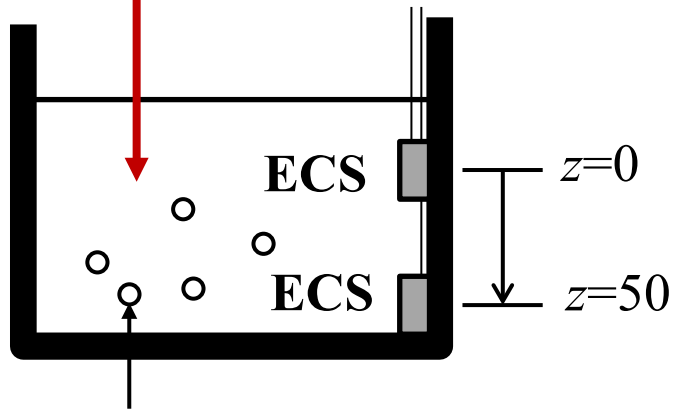
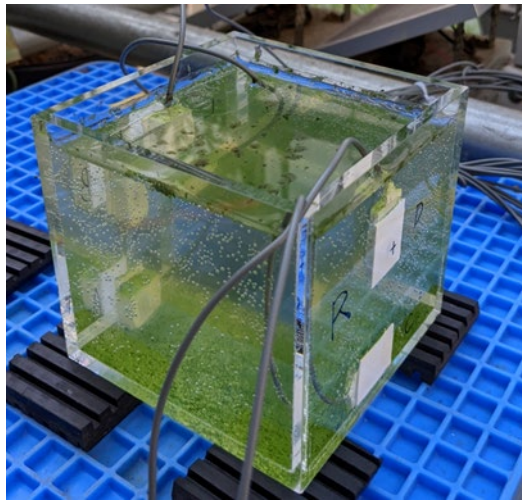


マイクロギャップ
(微視的な空気ギャップ)

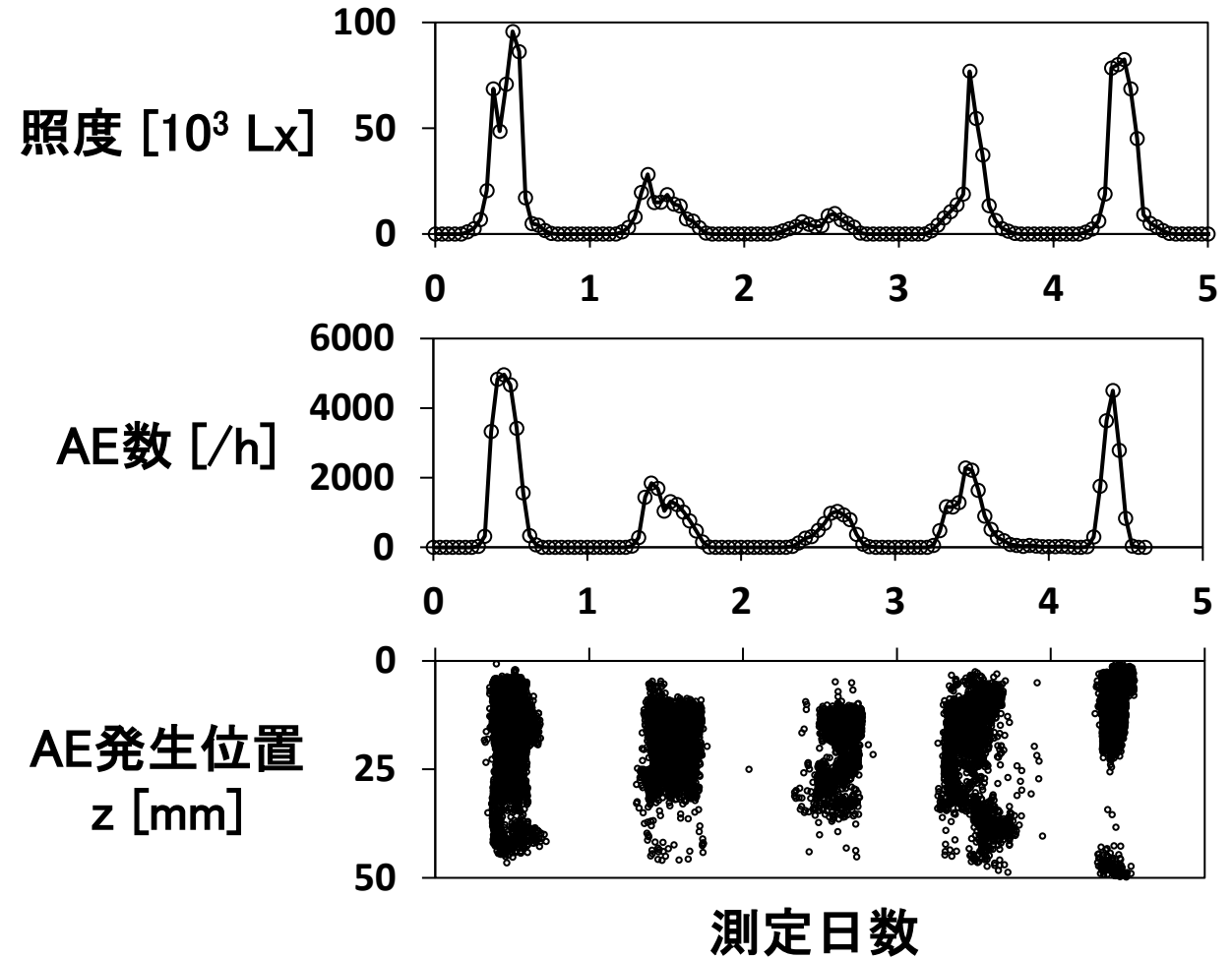
ECSのメリット
触れるだけで微小な音響・振動を検出
超広帯域(1 Hz~300 kHz)

微生物AE測定の実例(藻類)

ラン藻, イカダモの光合成



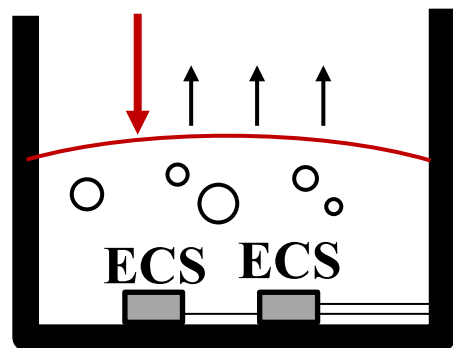
藻類の光合成に伴う
気泡の合体と分離 → AE



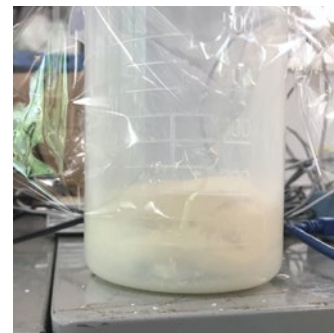
- AE発生は、光合成活性と類似の挙動を示す。
- 複数のECSでAE発生位置が得られる

微生物AE測定の実例(イースト菌)

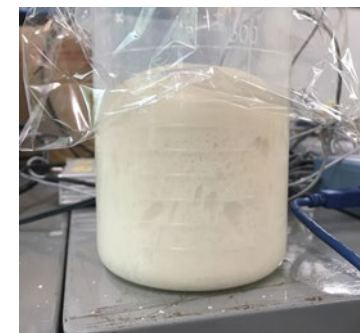
パン生地(培地+イースト菌)の発酵



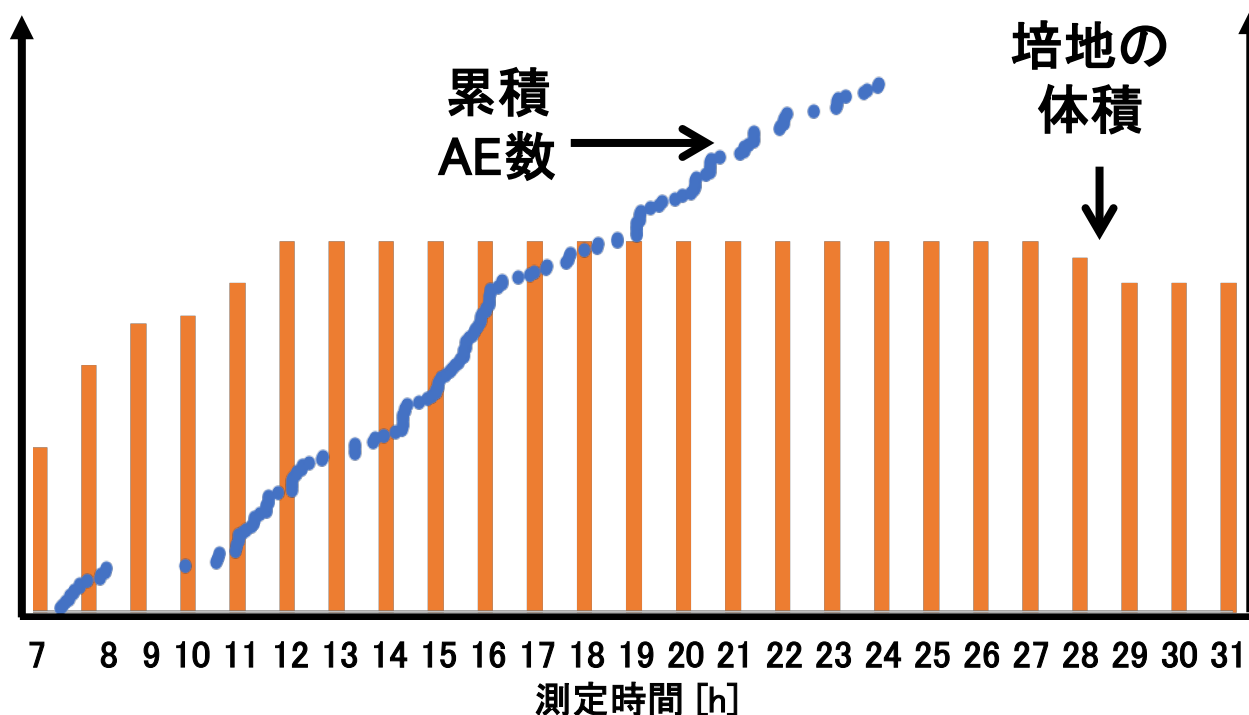
気泡の発生・合体 → AE
(培地の膨張)



開始直後



2時間後

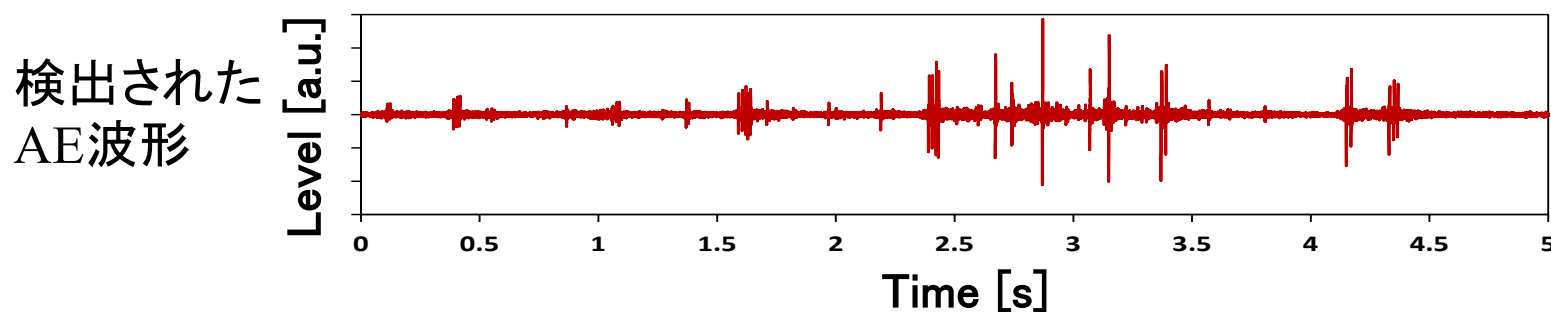
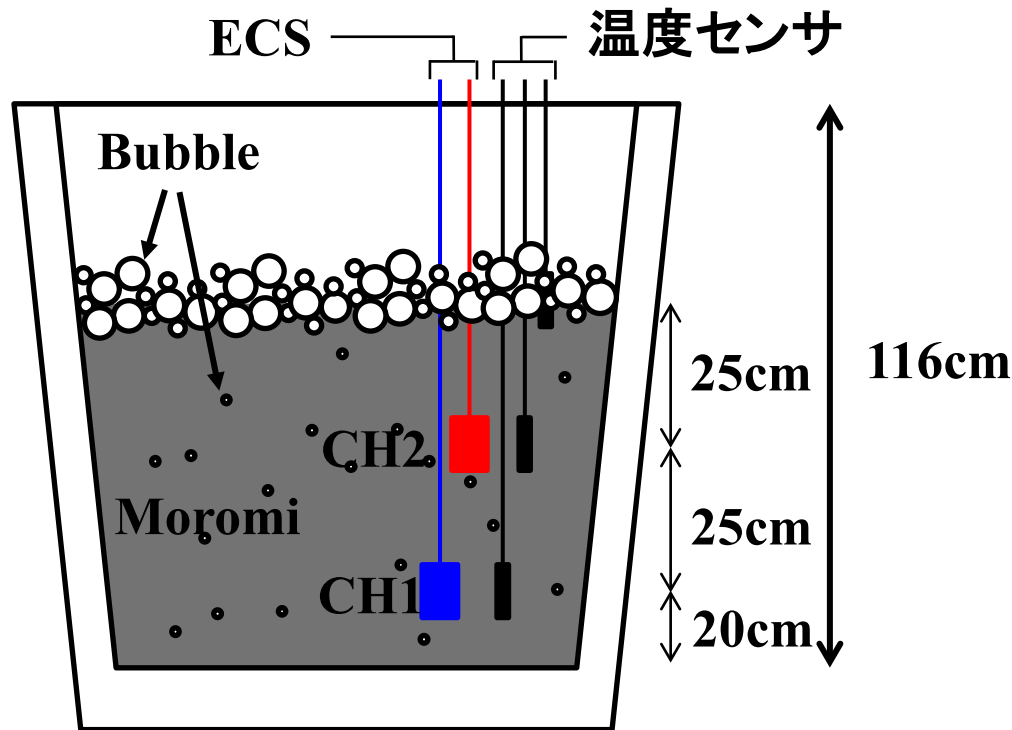


- 発酵による体積膨張に伴いAEが発生
- 体積膨張後もAEが発生 (発酵が継続)

AE測定により、外観では分からない酵母の活性を把握できる

微生物AE測定の実例(酵母)

日本酒のもろみの発酵(仕込み)

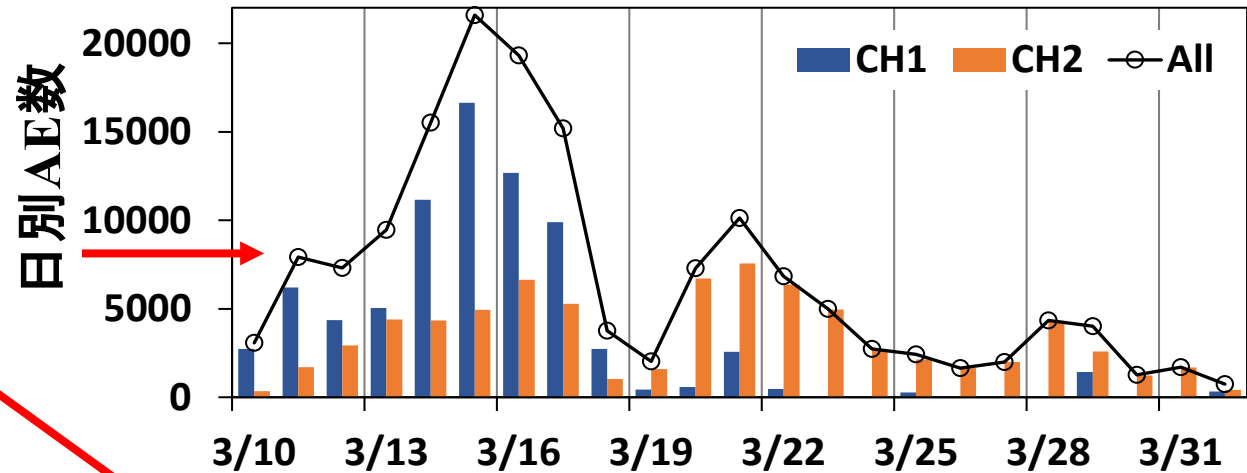


アルコール発酵で
CO₂発生
↓
気泡となってAE
が生じる

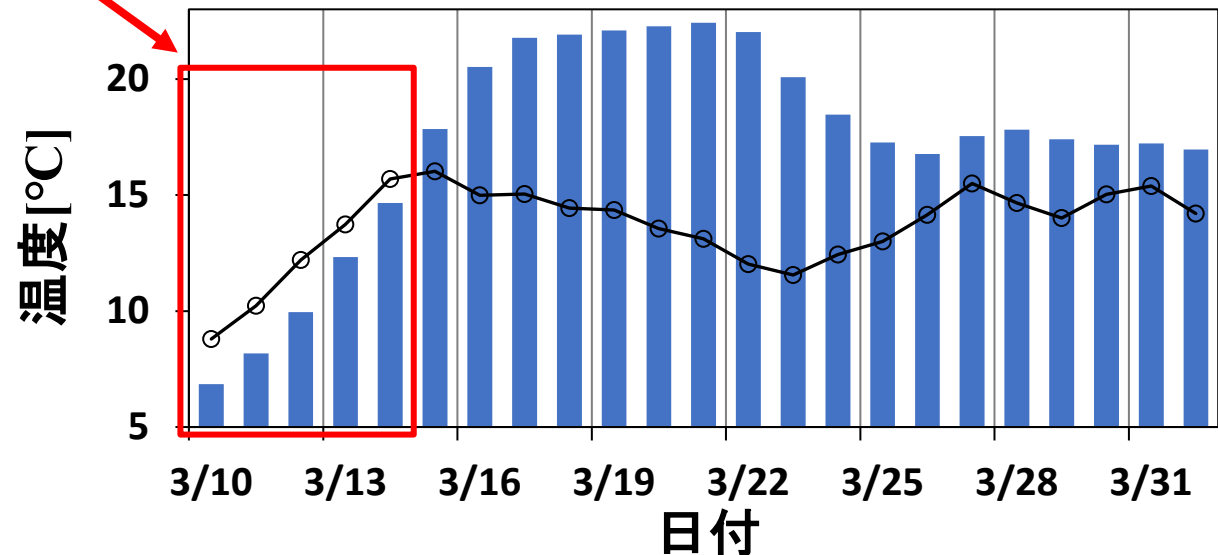
微生物AE測定の実例(酵母)

日本酒のもろみの発酵(仕込み)

もろみの温度が室温より低くても活発に発酵が生じている

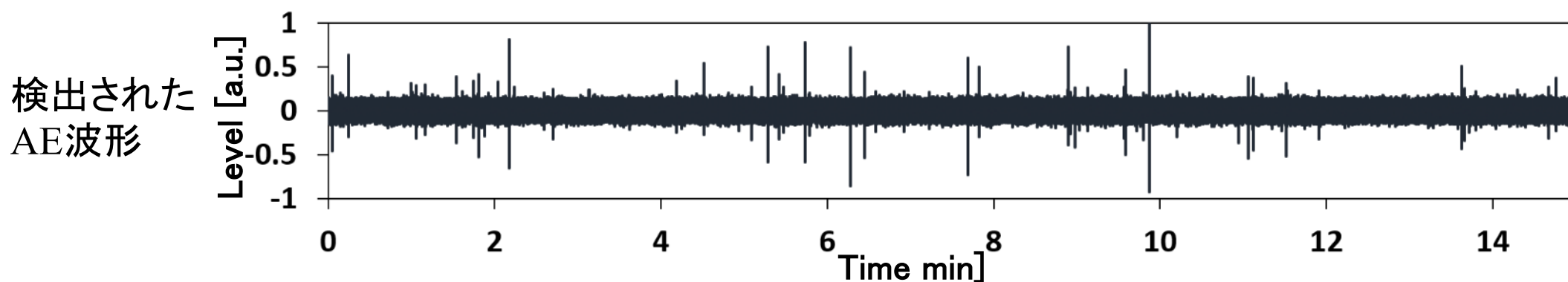
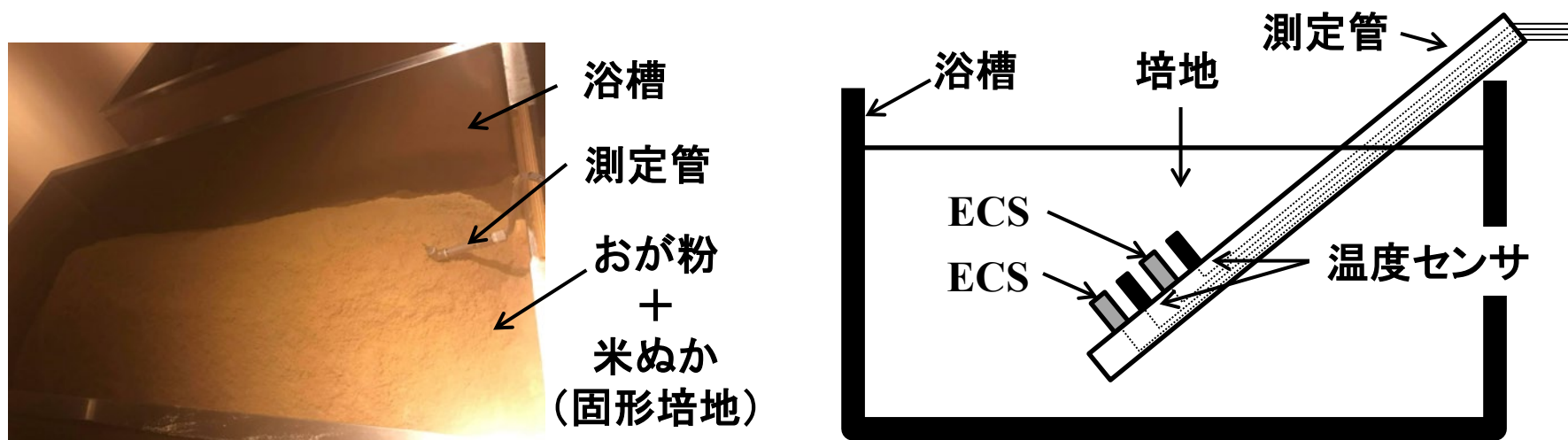


AE発生挙動から、温度測定ではとらえられない酵母の活性を把握できる



微生物AE測定の実例(酵素)

発酵温浴でのおが粉(固形培地)の分解



固形培地の発酵に伴うAEも検出できる
(おが粉の分解か、水蒸気の付着と気化でAEが発生しているのでは?)

新技術の特徴・従来技術との比較

培養中の微生物の活動状態（活性）の測定方法

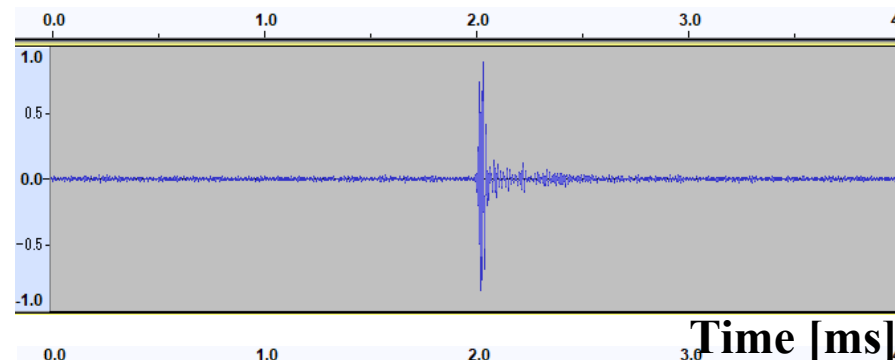
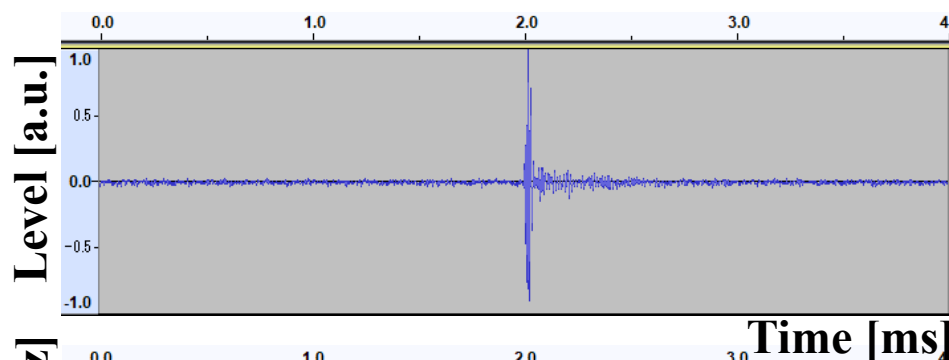
計測手法	測定方法	常時計測	自動化	生産現場での使用	備考
乾重量	微生物量	×	×	○	精度が低い
溶存酸素(RO)測定	溶存酸素量	○	○	○	高価，溶存酸素が飽和するまでしか測定できない
熱測定	発熱量	○	○	×	高価，熱測定装置内で測定が必要
AE測定	気泡の合体・分離，培地の分解	○	○	○	微生物以外の要因でAEが生じると判別が困難

ECSを用いれば，広帯域周波数でのAE波形を用いて判別可能

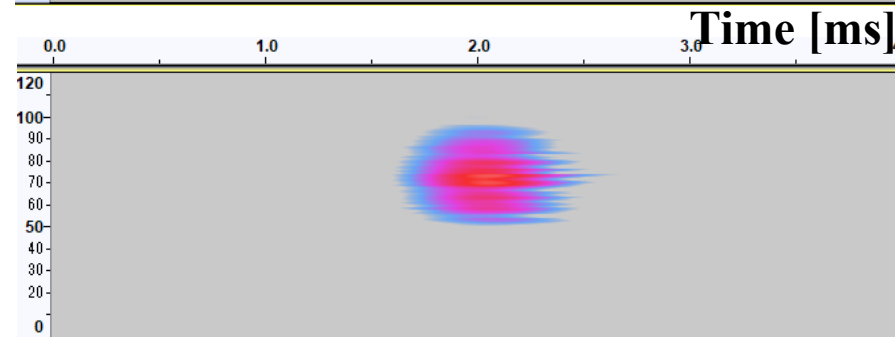
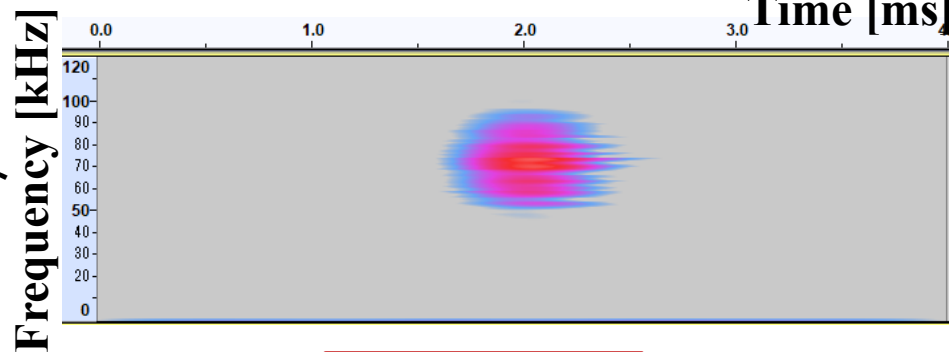
ECSを用いた広帯域測定によるAE判定精度の向上

狭帯域センサも適用可能なAE波形

信号波形



ウェーブレット
スペクトル



広帯域センサ

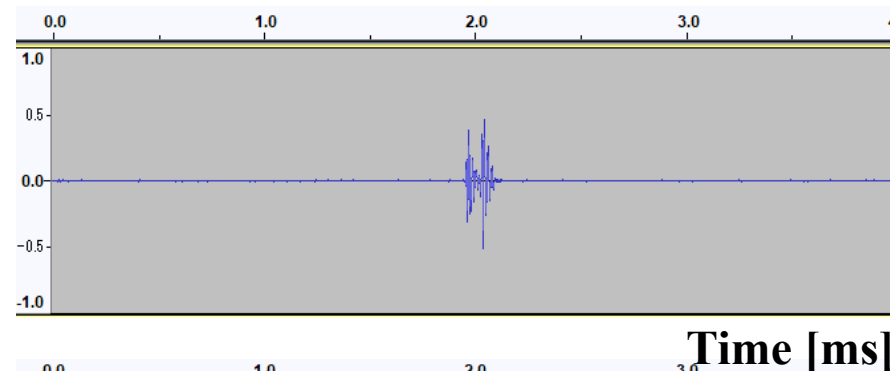
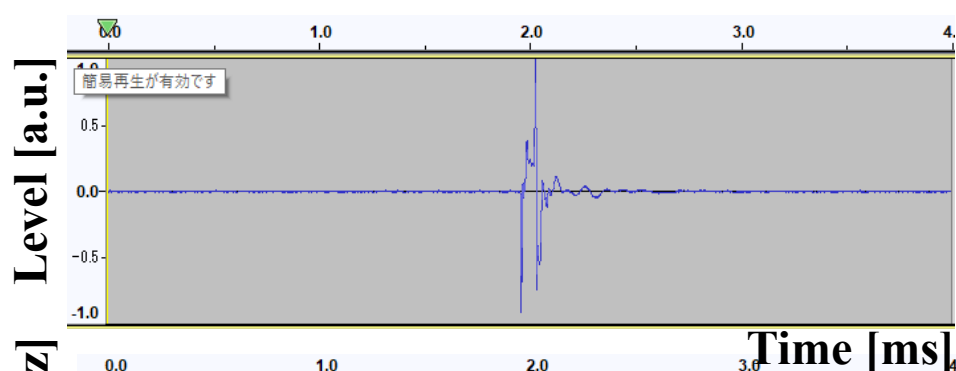
狭帯域センサ

高周波成分だけなので，狭帯域測定でもAEと判定

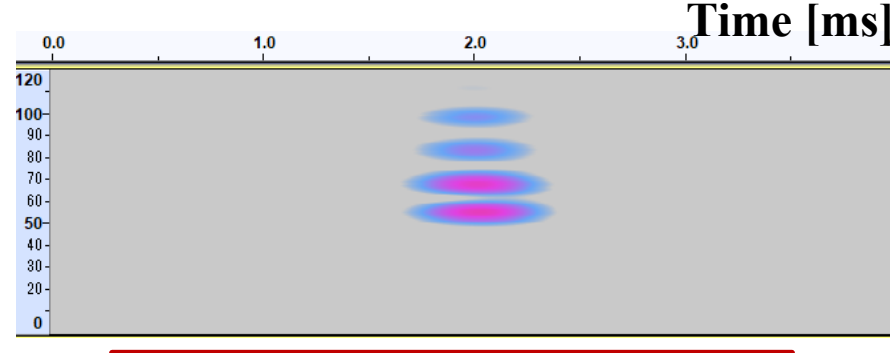
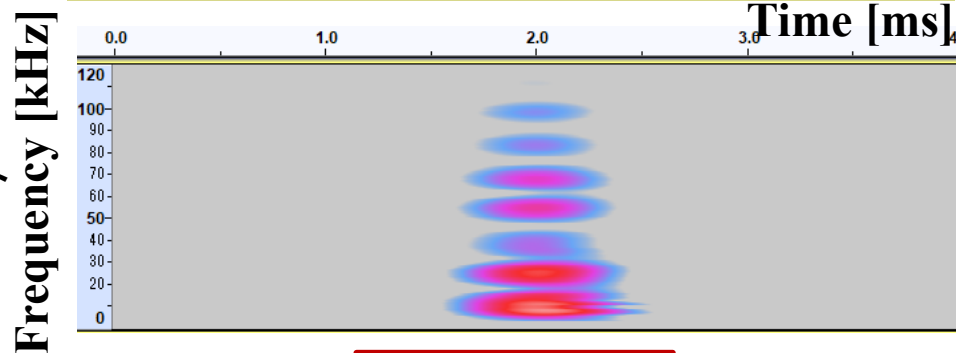
ECSを用いた広帯域測定によるAE判定精度の向上

狭帯域センサではAEと誤判定するノイズ波形

信号波形



ウェーブレット
スペクトル



広帯域センサ

狭帯域センサ
(低周波成分は検出しない)

広帯域センサでは低周波成分を
検出してノイズと判定

狭帯域センサではAEと誤判定

想定される用途

簡便な藻類や原生生物の光合成活性の測定
(溶存酸素の核生成・消滅に伴うAEの検出)

ラン藻やミドリムシの培養

- 藻類や原生生物の種類による光合成の違いを定量化
- 光合成活動の制御(温度, 光量, 攪拌, CO2濃度)による品質と生産効率の向上
- 培養時の管理の最小化による省エネルギー化・省力化
(光合成活性を把握して必要最小限の管理が可能)



藻類などのバイオマス生産施設での生産効率向上

微細藻類製品の市場規模: 15億4723万米ドル(2020年)
28億1,110万米ドル(2028年予測)

想定される用途

酵母の発酵状態の可視化

(発酵によるガスの放出や気泡核生成・消滅に伴うAEの検出)

醸造酒の製造

- 発酵させる原料や酵母の種類による発酵の違いを定量化
- 発酵の活動量の制御(温度, 水分, 原料や酵母の添加)による品質と生産効率の向上
- 醸造時の管理の最小化による省エネルギー化・省力化
(酵母の活動を把握して必要最小限の管理が可能)



パンの製造

- パン生地や酵母の種類による発酵の違いを定量化
- 発酵に適切な環境の把握(過発酵の防止)
- ロットごとに最適な発酵状態で焼成(品質向上)

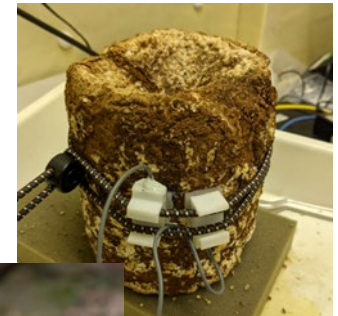


想定される用途

菌類の活動状態の測定
(菌糸成長や子実体形成時のガス放出に伴うAEの検出)

椎茸など菌類（麴）の栽培

- 菌や培地の種類による活動状態の違いを定量化
- 菌活動状態の制御(温度, 光量, 水分, 力学的・電氣的刺激)による品質と生産効率の向上
- 栽培時の管理の最小化による省エネルギー化・省力化(外的刺激による菌糸成長の促進効果を可視化)



発酵食品（酒，パン，キノコ，味噌，醤油，チーズ，熟成肉…）
の生産施設での生産効率向上

実用化に向けた課題

センサとデバイスを微生物AE測定に適した性能・形態に改良

様々な培養環境において

- AE測定に適したセンサ(ECS)の形状・形態
- AE測定に必要な信号波形測定・解析条件とデバイスへの実装



微生物培養施設でのAE測定データの蓄積 (生産効率向上の検証)

様々な培養環境において

- 微生物AE測定によるデータの蓄積
- 微生物AE発生のメカニズムの解明と微生物活性との関連の解明



企業への期待

- 微生物培養施設でのAE測定（データの収集）
- 食品・バイオマス分野において微生物AE測定を用いた生産管理技術の開発
- 既存の環境測定とAE測定を組み合わせた計測機器開発

試作レベルであれば、センサ(ECS)は提供可能

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 測定方法および測定装置
- 出願番号 : 特願2021-148684
- 出願人 : 埼玉大学
- 発明者 : 蔭山健介

お問い合わせ先

〒338-8570

埼玉県さいたま市桜区下大久保255

国立大学法人 埼玉大学

オープンイノベーションセンター
産学官連携推進部門

TEL : 048-858-3849

FAX : 048-858-9120

E-mail : coic-sangaku@ml.saitama-u.ac.jp