

# メタン発酵槽性能モニタリング

日立造船グループのHitachi Zosen Inova AG（日立造船イノバ、以下、HZI）は、発酵槽性能モニタリング（DPM：Digester Performance Monitoring）を開発した。現在、HZIが運営する乾式メタン発酵プラント（Kompogas<sup>®</sup>プラント）のメタン発酵槽に試験導入し、2024年の商品化をめざして、発酵悪化の警報検証と全体的なシステムチェックを行っている。

スウェーデンのヨンショーピング市にあるKompogas<sup>®</sup>プラントは、地域の有機性廃棄物から乾式メタン発酵によりバイオガスを生成し、さらに精製することで純度を高めたバイオメタンを合成天然ガス（CNG）自動車の燃料として販売するなど、利活用している施設である。（右写真）



## キーワード

バイオガス, データモニタリング, 遠隔監視, 異常検知, AI

HZIのAdvanced Digitalization Groupは、メタン発酵の生物学的な安定性を改善し、オペレーターが施設本来の能力をフルに活用することを目的としたDPM製品を開発している。

生物学的な発酵状態の悪化（有機物の分解率が低下してガス発生量が減少し、有機酸などが蓄積した状態）は、メタン発酵施設において比較的一般的な事象で、この期間、施設が本来の能力を発揮しないため、必然的に生産性が低下し、施設運営者は収益を失うことになる。図1に示すように、発酵槽の生物学的な健全性（微生物による発酵が十分に行われているか）は、現状では発酵槽の試料を分析室で分析することによって評価されている。これは労力と時間を要する手順であり、時には発酵状態の悪化に気付くのが遅すぎて、処理能力を回復するために抜本的措置が必要になる場合がある。

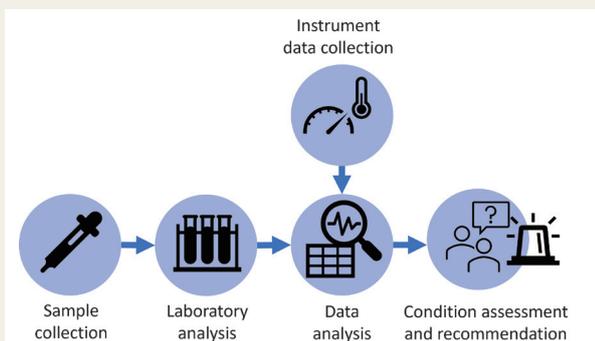


図1 発酵槽の生物学的状態を評価し、必要に応じて実用的な推奨事項を提供する現状の手順

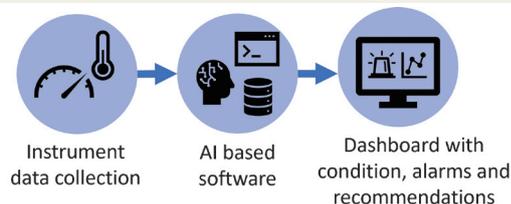


図2 DPMによる新しい手順

DPM製品は、メタン発酵施設に一般的に設置されている、少数の計器からの信号だけを使用する機械学習アルゴリズムを使用しており、オペレーターに実用的な洞察や助言を提供することができる。図2に示すように、この製品は分析室での分析作業を代替し、プロセス監視を現状の数日からわずか数秒に短縮することができる。そして、メタン発酵施設は発酵状態を悪化させずに、運転できる限界に近い運転が可能になり、施設運営者に収益面で恩恵を与えることになる。

## システム開発状況

最初に達成したマイルストーンは、生物学的な発酵状態の悪化を検出するソリューション能力の検証であった。ソリューション能力を検証するため、2箇所のメタン発酵施設のデータを使用した。各施設について、対応する訓練用データセットを用いて、モデルに学習させた。続いて検証用データセットのデータを用いてモデルを実行し、検証用データセットで観測された生物学的な発酵状態の悪化事象とモデルの予測事象とを比較した。表1に検証用データセットの主要パラメータを示す。

表1 検証用データセット

	施設 1	施設 2
データポイント	952点(発酵槽 2基)	801点(発酵槽 3基)
発酵状態悪化	13	16

検証用データセットが満たす重要な要件は以下の通りである。

- 生物学的な発酵悪化事象の十分な把握：検証を完了するためには、2基の発酵槽をもつ施設あたり、少なくとも5回の生物学的な発酵悪化の事象が必要である。生物学的に限界に近い状態で運転されている施設では、発酵槽1基あたり年間3回程度の大きな生物学的な発酵悪化の事象が発生する。これらの5回の事象は、発酵槽2基あたり年間6回の事象の大部分をカバーしている。さらに、季節的な事象から、発酵槽の少

なくとも1年間の運転期間を検証する必要がある。季節的な事象は、年間を通して供給原料の変動から発生し、これが発酵悪化に影響する可能性がある。

- データポイントの十分な特性評価：各データポイントについて、発酵液試料が採取された日付と、プロセスエンジニアによる診断日付が必要である。さらに、試料の分析データとプロセスエンジニアによる洞察推奨事項が検証に使用された。

図3と図4に発酵槽5基で実施した主な検証結果を示す。完全に達成されたアルゴリズムの性能の主要要件は以下の通りである。

- すべてのプロセスの発酵状態悪化が検出されること
- 発酵槽あたりの誤警報は年間最大5件であること
- 復旧措置の開始が手遅れになる前に、警報が作動すること

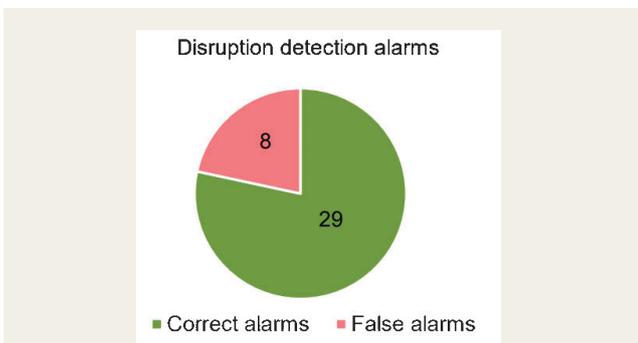


図3 発酵状態悪化の警報検証結果：正しい警報と誤った警報。見逃した警報はなかった。

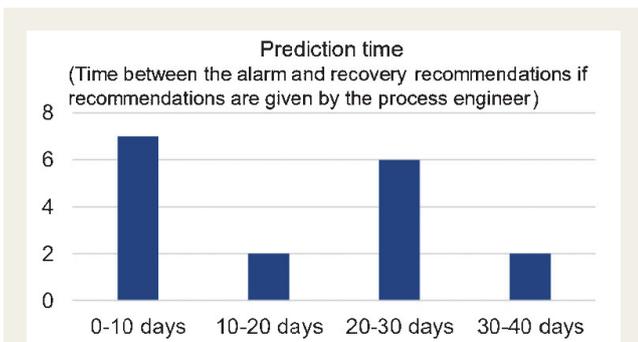


図4 発酵状態悪化の予測時間の検証結果：予測時間（プロセスエンジニアによって推奨事項を発信した場合、警報と発信の日数）

## ■ 製品の特長

これまででは、プラントオペレーターが週に一度、各発酵槽から発酵液試料を採取し、分析機関に送って分析を行っていた。分析機関の技術者が結果を出し、さらにバイオテクノロジーの専門家が分析データを解析して、発酵状態の悪化を示唆する指標を特定する。この手順には通常数日を要していた。つまり、発酵槽に発酵状態悪化の問題が発生してからその問題が発見されるまでには、1週間以上の時間がかかることになる。その時間が長ければ長いほど、生産されるバイオガス量はより減少し、

発酵状態の悪化が数ヶ月続くこともある。

DPM製品は、施設に設置された計器からの信号に基づいて、発酵槽の生物学的状態に関する日々の洞察を提供するソフトウェア・ソリューションである。この信号は、説明可能なAIの原則に基づいて開発された機械学習モデルの入力となる。これは、入力データの特徴量（入力変数）とアルゴリズムのステップが追跡可能で、プロセス原則に対応付けることができるため、結果の解釈について、開発者とバイオテクノロジー専門家の双方に自信をもたらす。

ユーザーインターフェースは、発酵槽の状態や警報および供給原料の増加など、運転に関する推奨事項を直感的に把握できるように開発されている。オペレーターは、生物学的な発酵状態の悪化を回避し、施設の処理能力を最大化するための行動をとることができる。

1. 発酵槽ごとに必要な計器数は30未満と少ない。
2. 発酵状態の悪化を検出する感度が高い。
3. 警報が十分早い段階で鳴り、対策を講じられる。
4. どのようなメタン発酵施設にも転用可能である。
5. 実用的な洞察を備えた直感的なユーザーインターフェースを持つ。

これらの特長について、簡単に説明する。

### 1. 発酵槽ごとに必要な計器は30個未満

機械学習アルゴリズムは、開発中も運転中も大量の信号とデータを必要とすることがあり、そのようなソリューションに関する投資と維持管理コストに影響を与える。DPM製品は、可能な限り最小限の信号を使用するように設計されており、メタン発酵施設に通常存在する信号を使用する。このことは、多くの施設が（すべてではないにしても）必要な計器のほとんどを備えているため、この製品の適用には、施設の計器に多額の投資を必要としないことを意味する。

### 2. 生物学的な混乱を検出する感度が高い

2つの施設のモデルが検証され、発酵悪化を予測する際の感度が高く、警報の見逃しがなかったことが実証された。一般的に高感度は誤警報を犠牲にする可能性があるが、検証の結果、誤警報の数は許容範囲内（年間5件）であることが示された。

### 3. 警報が十分早い段階で鳴り対策を講じることができる

検証の結果、バイオテクノロジーの専門家が発酵悪化を発見できる平均21日前に、モデルが障害を予測していたことも実証された。この時間枠は、例えば原料供給計画の調整や、清水による希釈のための緩和策を適用するのに十分な時間を提供する。

### 4. どのようなメタン発酵施設にも適用可能

このアルゴリズムは、どのようなメタン発酵施設にも適用できる。各施設には、次のような要件を備えた、調整されたモデルが必要である。

- 施設固有のモデルは、新しい施設のデータで学習されなければならないが、そのデータセットに発酵悪化のデータが含まれている必要はない。
- ハイパーパラメータは、ごみ質や施設運転の違いにより、新しい施設ごとに適合させる必要がある。

## 5. 実用的な洞察を備えた直感的なユーザーインターフェース

ダッシュボードは、直感的で実用的な情報を提供するために開発されている。ダッシュボードは、進行中の実証の一環として、施設の運転チームとともにテストされ、次のことが確認された。

- ダッシュボードの情報はバランスが取れている：利用者を圧倒するほど多くの情報ではなく、洞察を引き出すのに十分な情報である。
- 警報チャンネル（ダッシュボード、電子メールなど）が現場チームの作業手順にうまく統合されている。
- 現場チームは、ダッシュボードの情報と警報チャンネルによって、自律的に洞察し、行動を起こすことができる。

## ■ 今後の展開

DPM製品の最初のリリースは、2023年にスウェーデンのヨンショーピングにあるHZIが運営する施設に試験的に導入し、発酵悪化の警報の検証と全体的なシステムチェックを行い、来年には販売する予定である。

第2弾のリリース製品はすでに開発中で、発酵槽の状態が許容する場合に原料供給量により処理能力を高めるだけでなく、生物学的な発酵悪化を緩和するための自動的な洞察推奨機能を提供することを目標としている。

### 【問い合わせ先】

Hitachi Zosen Inova AG  
Bruna Azevedo  
Project Manager Advanced Digitalisation  
E-mail : bruna.azevedo@hz-inova.com