

# 製糖工場がTOCで熱交換器の液漏れを迅速検出 ボイラー設備損傷と製品損失を最小限に抑える方法

## 概要

アプリケーション: 漏れ検知

測定技術: TOC

要件: 水中の有機物汚染を検出する精度と感度

キーワード: F&B、製糖、有機物監視、漏れ検知、導電率、pH、酸化還元電位(ORP)、TOC計 Sievers\* InnovOx、凝縮水、コスト、製品損失

## 背景

製糖工程では非常に大量の水を消費します。たとえば、サトウキビの果汁を最大限に圧搾するために、圧搾工程中にサトウキビに水を噴霧します。2トンのサトウキビを圧搾するために、1トンの蒸気が必要です。蒸気はボイラー設備によって生成されます。さらに糖液を精製し結晶化するためにも蒸気が必要です。したがって、製糖工場にとって水を節約して再利用する手段は重要です。

有効な水の再利用の方法は、ボイラー設備などから排出される蒸気を回収して凝縮することです。ただし、一般的に蒸気は製糖工程に必要な熱源として利用されてから再利用されます。これは、2つの流体の混合を防ぐ熱交換器によって実現できません。冷却された凝縮水は水処理を経てプロセスの給水やボイラー設備の給水として再利用されます。上記の取り組みによって、熱と水を節約できます。

## チャレンジ

実際には、熱交換器は長期間運転することで金属疲労や腐食による設備損傷が発生します。金属表面にピンホールが開き、液体が漏れてしまう可能性があります。

熱交換器のピンホールは多くの問題を引き起こします。まず、凝縮水が熱交換器を通過する際、圧搾液や液糖に凝縮水が漏れると、製品の損失が生じます。これらの損失は、時間経過とともに大きく膨らむ可能性があります。以下の例を検討してください。

- 一般的な工場は、年間 300,000 ~ 400,000 トンの原料糖を生産しています
- 設備の不具合により、300 ~ 400 トンの製品が損失します。これは製品の0.1%に相当します。
- 平均販売価格を1トンあたり400米ドルと仮定すると、これは年間 120,000 ~ 160,000 米ドルの収益損失に相当します

さらに、熱交換器からの液漏れによって凝縮水も汚染されるため、凝縮水を再利用する前に、追加の水処理が必要となります。水処理ができなければ、凝縮水は廃棄されることになり、水を節約する機会が失われ、排水処理費用が高くなります。

早期の漏れ検知は、不要な製品損失を回避し、設備損傷を最小限に抑えるために重要です。凝縮水を監視する既存の水質項目は、有機汚染を検出できない恐れがあります。有機汚染を見逃した場合、リスクはさらに深刻になります。たとえば、汚染された凝縮水がボイラーに給水される場合、水中に存在する有機物が高温で酸化され、有機酸が形成され、ボイラー内のpHが危険なレベルに低下し、予期せぬブローダウンが必要になる可能性があります。また、有機汚染は長期的にはボイラー内の腐食やスケールのリスクを高め、ボイラー設備の運用寿命を縮め、ボイラーの修理費用や長期間の稼働停止が必要になる場合があります。

## 解決

熱交換器の漏れにより凝縮水にサトウキビの圧搾汁、液糖、ボイラーの燃料油などの有機汚染物が混入する可能性が高いため、迅速に汚染物質を検出することが重要です。pHや導電率などの従来の水質項目では、有機汚染物質を検出するのは難しいです。ほとんどの有機汚染物質は水中でイオン化しないため、実際にはpHが中性である可能性があるからです。一方で、全有機炭素(TOC)は、サンプル中のすべての有機炭素化合物の濃度を正確に測定し、凝縮水中の有機物量を直接的に定量します。TOC分析は迅速かつ定量的であるため、リアルタイムで凝縮水の再利用と廃棄を管理できます。

有機汚染に対するTOCの感度を実証するために、潜在的な汚染物質を実際の凝縮水に滴下した回収率試験を行いました。汚染物質には熱交換器を介して凝縮水へ漏れる可能性がある中間糖製品(「圧搾汁」と「液糖」)を選択しました。添加した濃度は50 ~ 500 ppm(mg/L)の範囲です。

製糖工場の一般的な動作条件を再現するために凝縮水を40±2°Cに加熱しました。TOCは、50 ppb(µg/L)~50,000 ppm(mg/L)の広範囲を測定できる独自の超臨界水酸化方式のTOC計 Sievers InnovOx(図1)を使用して測定しました。また、導電率、酸化還元電位(ORP)、pHも測定しました。



図1. TOC計 Sievers InnovOx

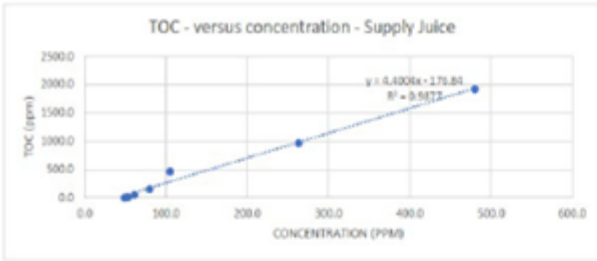


図2a. 圧搾汁とTOC

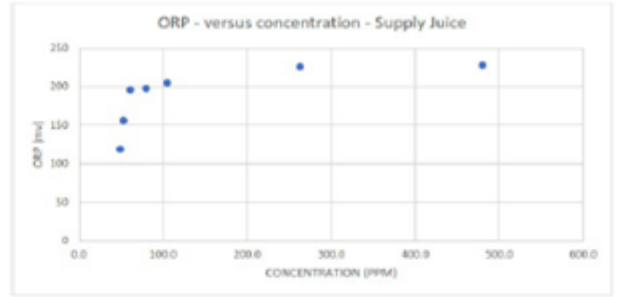


図4a. 圧搾汁とORP

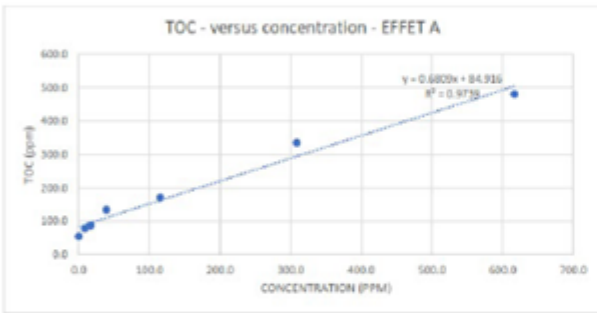


図2b. 液糖とTOC

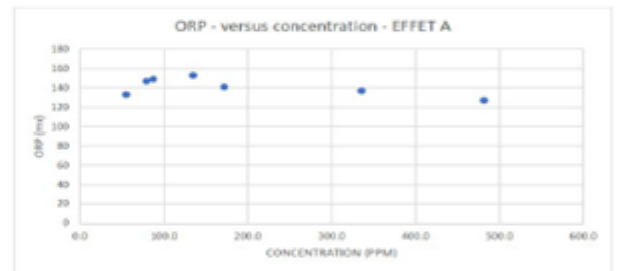


図4b. 液糖とORP

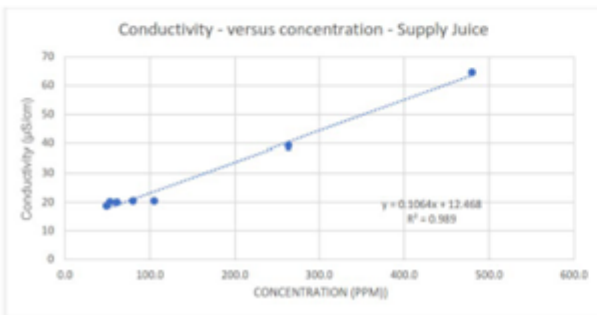


図3a. 圧搾汁と導電率

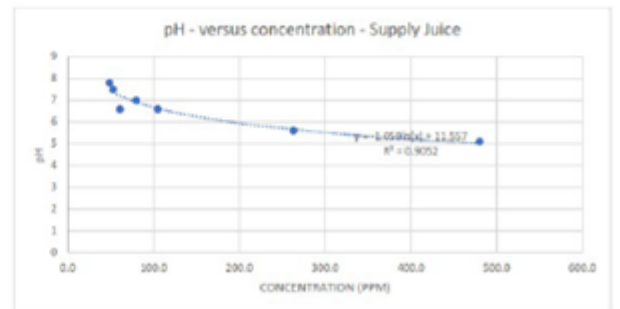


図5a. 圧搾汁とpH

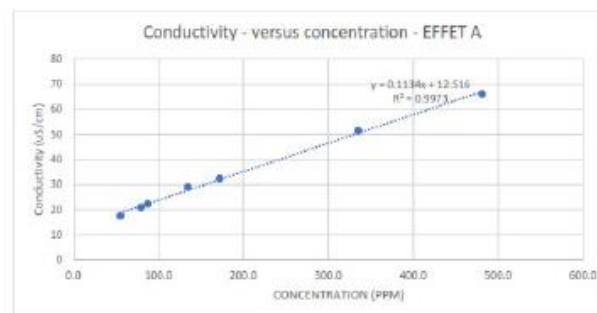


図3b. 液糖と導電率

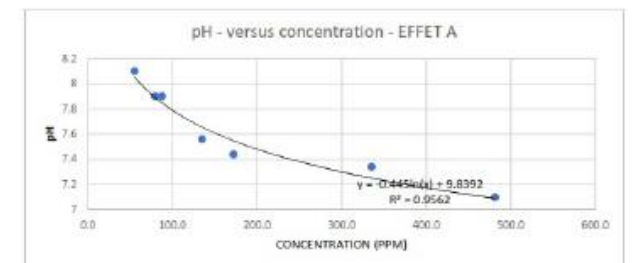


図5b. 液糖とpH

2つの汚染物質に対して各項目(TOC、導電率、酸化還元電位、pH)を測定したデータを図2~5に示します。直線性と傾きを考慮することで、水質項目の応答性と感度を評価できます。

汚染物質の種類に関係なく、TOC が優れた直線性を示しました。傾きは、TOCが添加濃度範囲全体にわたって高感度で応答したことを示しています。

一方、導電率は両方の汚染物質に対して一般的に良好な相関関係を示しましたが、圧搾液の添加濃度が低い場合は直線性がやや劣ります(図6)。また、傾きが小さいため、導電率の小さな変化がノイズとして見過ごされやすいため、感度は十分ではありません。

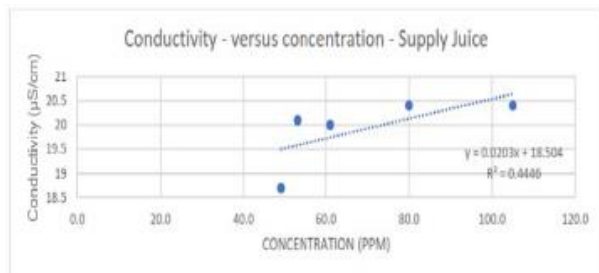


図6. 圧搾汁の添加濃度が低いほど導電率の直線性が低下します

TOCや導電率とは対照的に、ORPは良い測定結果は得られませんでした。圧搾汁を添加した凝縮水では、ORPは100 ppm 未満の添加濃度でわずかな直線性を示しましたが、これ以上の値を超えると横ばいになりました。濃縮液では、ORPは汚染物質濃度の増加にも関わらず一貫性がなくなり、相関関係がないことが示されました。

同様に、凝縮水のpHと汚染物質の濃度との間に直線性は見られませんでした。実際、測定値は対数関数にしか当てはめられず、pHで凝縮水中の有機汚染物質を検出するのは実用的ではないことが判明しました。

## まとめ

熱交換器全体で凝縮水の品質を監視することは、製品と収益の損失を防ぐことを目指す製糖工場にとって不可欠です。同様に、汚染された凝縮水によるボイラー設備の損傷を避けるために、再利用する凝縮水の清浄度を検証することが重要です。

導電率、ORP、pH など、一般的な水質項目は、イオン性の汚染物質を検出することはできませんが、低濃度の有機物汚染を検出することは難しいです。これらの水質項目だけで凝縮水を監視すると、プロセスの可視性が低下し、誤った決定が行われ、最終的に生産コストが上昇したり、設備が損傷したりする可能性があります。

TOCは迅速で正確かつ高感度に有機物汚染を検出し、凝縮水の品質を確保するための貴重なツールです。

## 参考文献

1. Quantification of Sugar Content Loss in various Byproducts of the Sugar Industry, International Journal of Advance Industrial Engineering, Vol. 3, No. 2 (June 2015)

(翻訳: セントラル科学株式会社)