

ガスタービン燃料供給の 水素混合における ラマン分光法の利用

ガスタービン燃料供給用のラマン技術

ガスタービンの燃料として使用される天然ガスに水素を添加することは、脱炭素化に向けた好ましい傾向となっています。水素はメタンやその他の炭化水素の濃度を下げ、結果として排出ガスを削減します。ガスタービンの製造者には、水素が多く含まれる燃料を燃焼できるように既存資産のタービンを改造するための問い合わせがエンドユーザーから寄せられています。顧客が要望するのは、 H_2 が5%~50%の燃料であり、現在、水素を含む燃料で稼働するガスタービンが多数設置されています。¹

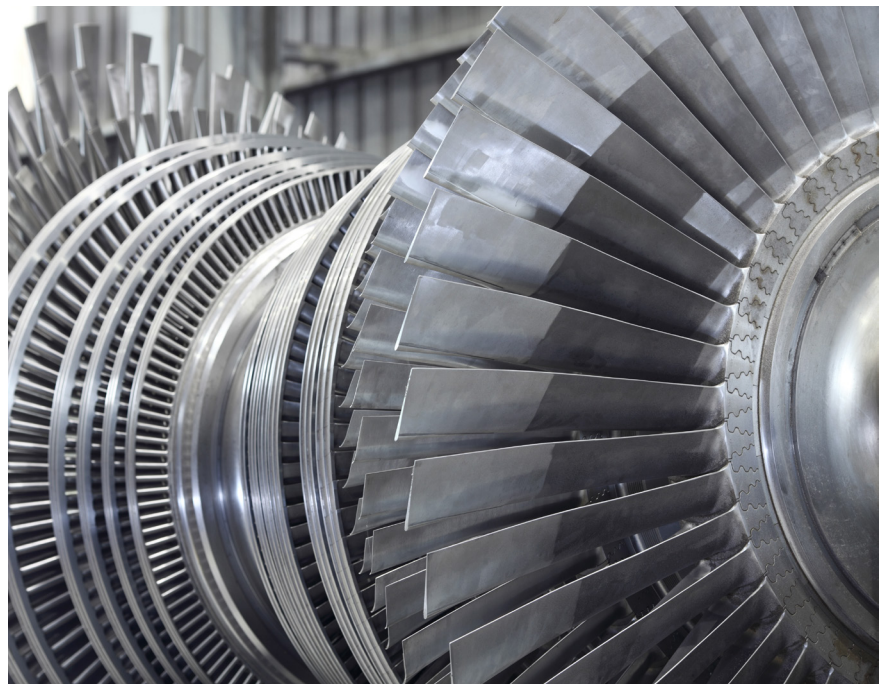
水素の混合には複雑さがつきものです。非従来型の燃料をガスタービンで使用するには、発熱量と修正ウォッペ指数を決定するために、その組成を把握する必要があります。この情報により、燃料を適切な燃焼システムと条件に適合させることができます。² ガス組成測定により炭化水素の露点を計算する

ことが可能であり、これは、バーナーのコーキングにつながる可能性のあるコンデンセートを回避するために重要です。さらに、混合ガスの特性に合わせて燃焼条件が調整されないと、水素燃料混合物でフラッシュバックの発生率が高くなります。

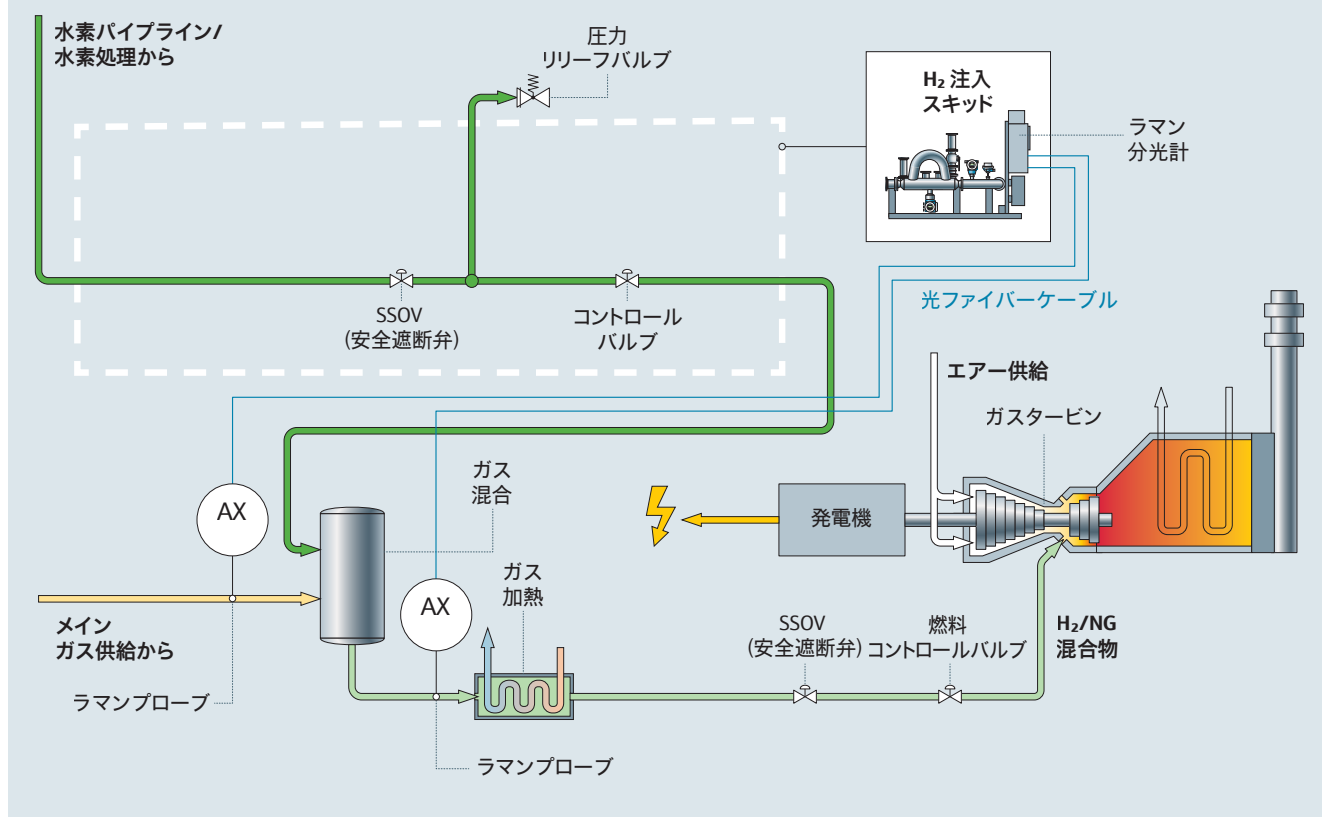
ガスタービンには、ガスクロマトグラフ (GC) など、燃料組成を測定するための複数のアナライザが装備されることが少なくありません。しかし、クロマトグラフィでは、応答時間が遅くなることがよくあります。ある研究では、燃料が周期的に変動する場所で、3時間の燃料発熱量分析が実施されました。³ 分析には、測定サイクル180秒のGCが使用されました。この調査期間中に、GCの測定能力を上回る速さで燃料組成に過渡的な変化が発生しました。過渡現象は、完全な2サイクル (6分) が経過してから検出されました。これは、タービンの運転に対する安全上のリスク増大につながります。

特長

- ガスタービン供給組成の迅速で正確な非破壊分析が可能
- 重要な運用上の変更時にデータを適時に提供することで、ガスタービンの保護と最適化に対応
- さまざまな燃料組成に合わせてカスタマイズ可能
- メンテナンスおよび運転コストの削減が可能 - キャリアガスや消耗品は不要



ガスタービンの水素混合



ラマン分光法の利点

ラマン技術では、質量分析法 (MS) やクロマトグラフィなどの他のガス分析方法と比べて、複雑さが大幅に軽減されます。ラマンプローブはライン圧で設置できるため、複雑なサンプル調製システム、キャリアガス、カラムの必要性を減らすことができます。高度なサンプルシステムがないため応答速度も向上します。これは、燃料混合物の変化を測定し、安全な状態を維持するためにガス混合を調整するために非常に望ましいことです。

実験

最近になって、ガスタービン技術研究所において、タービン燃料供給を監視するためのラマン気相アナライザの拡張評価が行われました。この施設の所有者は通常、熱量計、冗長化された1対のGC、酸素アナライザ、CO₂ アナライザとともに、4つの異なるアナライザ技術を各タービンに搭載して出荷しています。天然ガスに混合されたH₂やエタンなど、燃料混合における急速な過渡現象を測定するための質量分析 (MS) とラマン分光法を比較することが、この評価の主な目的でした。副次的な目的は、この測定において4台ある一連のアナライザを1台のアナライザに置き換えることができるかどうか判断することでした。

結果および考察

ラマン分光計は、シンプルな4方向T型インタフェースに取り付けられたラマン光ファイバプローブへのバイパスによってガス燃料ストリーム内に設置されました。測定は燃料供給圧力350 psiaで行われました。これに対して、質量分析計では、インジェクションポートの前にサンプル移送ラインとサンプル調製が必要でした。急速な過渡現象の測定は、両方のアナライザシステムで追跡されました。ある一連の試験では、40秒間にわたってH₂を天然ガスに25%から70%になるまで注入し、その後の40秒間で24%まで下げました。図1は、この試験中にラマンアナライザとMSアナライ

ザの両方がどのように機能したかを示しています。ラマン分光データは13秒ごとに更新され、過渡現象を追跡することができました。質量分析計では、約2秒ごとにデータが更新されます。質量分析計は、サイクル時間が速いにもかかわらず、サンプル調製システムによって大きな遅れが生じました。

図2は、1時間の試験中にエタンが天然ガスに添加されたときのMSおよびラマン分光法の測定結果を示しています。このプロットには、同施設が独自開発した流量アルゴリズムの結果が含まれており、これがベースラインとして使用されています。ラマン分光計は、天然ガスへのエタン混合の過渡現象を容易に追跡することができ、MSよりも「流量ベース」に近い結果が得られました。MSシステムは実験中に67%しか稼働しませんでした。ラマン分光法システムは100%の稼働率を示しました。他の実験でも同様の結果が見られました。

8週間にわたる評価期間中、ラマン分光計は再校正を必要とせず、迅速かつ正確な結果を提供し続けました。評価終了時のフィードバックでは、ラマン分光計が定常状態と過渡状態の両方において、ガスタービン燃料供給組成分析のための信頼性が高く、正確で、安定した技術であることが認められました。その結果、ラマンプロセスアナライザは、GCに代わるタービン燃料供給測定用の適切な機器として、施設とその所有者から承認されました。

図1:天然ガストリームに添加された水素のラマン分光計および質量分析計による分析

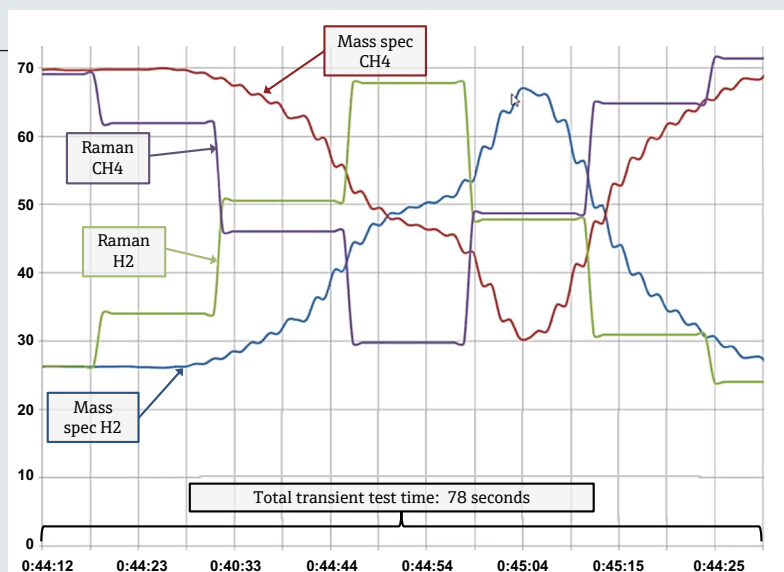
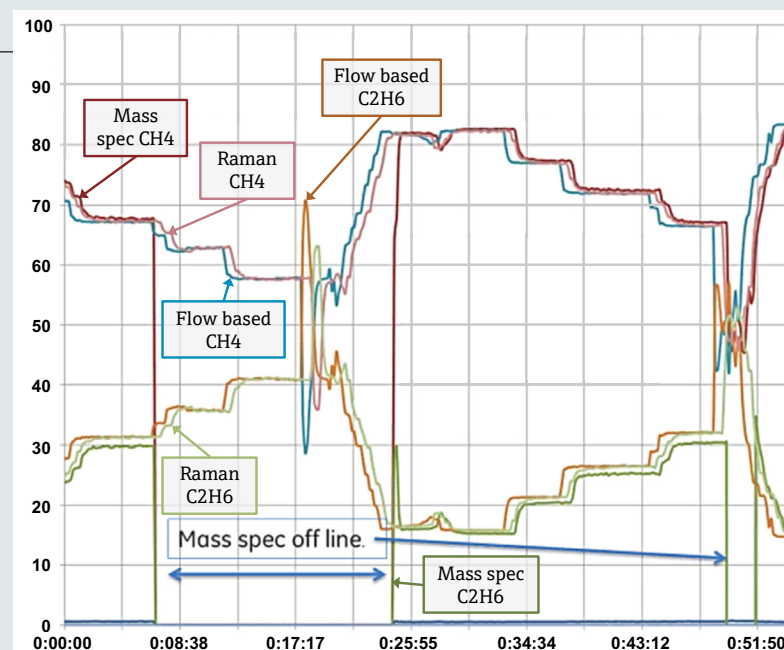


図2:天然ガストリームに添加されたエタンのラマン分光計および質量分析計による分析



結論

本研究は、ラマン分光計がガスタービン燃料供給分析に極めて有効な測定ツールであることを示しています。ラマン分光法は、水素などの次世代燃料に対して将来性があります。⁴ Endress+Hauserが提供するラマン分光法システムは、特定の燃料供給の測定ニーズに合わせて容易にカスタマイズできます。通常、新しい燃料または混合物を測定するために必要なのは、ソフトウェアメソッドやモデルを更新し、新しい組成に適した校正ガス混合物でアナライザを再校正することだけです。ハードウェアの更新や交換は必要ありません。

参考資料

1. Patel, S., "The POWER interview: GE Unleashing a Hydrogen Gas Power Future", *POWER*, **2019**.
<https://www.powermag.com/the-power-interview-ge-unleashing-a-hydrogen-gas-power-future/>.
2. Goldmeer, J., et al, "Enabling ethane as a primary gas turbine fuel: an economic benefit from the growth of shale gas" *GE GEA32198*, **November 2015**.
3. Goldmeer, J., et al. "Gas Power Systems Fuel Capacity," *The Future of Gas Turbine Technology 8th International Gas Turbine Conference, Brussels, Belgium*. **2016**.
4. Valera-Medina, A., et al, "Ammonia, Methane, and Hydrogen for Gas Turbines", *Energy Procedia*, **75 (2015)** 118-123.

標準的な適用方法

Endress+Hauserは、以下に示す基準に従って、タービン供給燃料を測定するための標準メソッドを開発しました。

アプリケーションデータ

測定対象成分	水素0～50%(低濃度に最適)
天然ガス組成	下表に基づいたパイプライン品質の天然ガス
プロセス圧力範囲	1.38～4.8 MPa abs(200～700 psia)
プロセス温度範囲	-20～150 °C(-4～302 °F)
測定応答時間	最短20秒

水素混合前の天然ガス組成*

成分	予想される範囲 (Mol%)	分析対象の測定	繰返し性 (Mol%)	LOD(検出限界) (Mol%)
メタン(C ₁)	85～100%	あり	0.32%	0.96%
エタン(C ₂)	0～7%	あり	0.13%	0.40%
プロパン(C ₃)	0～2%	あり	0.08%	0.23%
n-ブタン(C ₄)	0～1%(n+Isoの合計)	あり	0.28%	0.85%
Iso/イソブタン(C ₄)	0～1%(n+Isoの合計)	あり	0.04%	0.12%
n-ペンタン(C ₅)	0～0.2%(n+Iso+Neoの合計)	あり	0.12%	0.35%
Iso/イソペンタン(C ₅)	0～0.2%(n+Iso+Neoの合計)	あり	0.17%	0.51%
Neo/ネオペンタン(C ₅)	0～0.2%(n+Iso+Neoの合計)	あり	0.05%	0.14%
ヘキサンおよびその他のC ₆ +	0～0.2%	なし	-	-
二酸化炭素(CO ₂)	0～10%	あり	0.06%	0.19%
窒素およびその他の不活性物質	0～10%	N ₂ のみ	0.15%	0.44%

天然ガスへの水素添加*

成分	予想される範囲 (Mol%)	分析対象の測定	繰返し性 (Mol%)
水素(H ₂)	0～50%	あり	0.06%

*Endress+Hauserの標準メソッドを使用するには、ガスの組成がこれらの範囲内でなければなりません。ガスの組成、温度、圧力が異なるアプリケーションでEndress+Hauserの標準メソッドを使用することは可能ですが、Endress+Hauserアプリケーションチームによる検討が必要です。