

天然ガス中の水分含有量測定の改善

新しいTDLASアナライザは、最新の設計と多くの接続オプションにより、従来の問題を解消して、高い精度と信頼性を提供します。

著者: Alan Garza, Sam Miller (Endress+Hauser)

天然ガスについてある程度の知識を有する消費者は、それが純粋なメタンのガストリームのことだと考えるかもしれませんが。エネルギー産業に詳しい人なら、メタンが主成分ではあるものの、他の数十種類の物質が、総量のかなりの部分を占めている可能性があることを知っています。天然ガス生産者、パイプライン事業者、そして各種石油化学プラントなどの主要な産業ユーザーには、この混合物に何の物質が含まれているのか関心を抱く理由があります (図1)。

天然ガス中の汚染物質は、特に水と混合した場合、パイプライン事業者や石油化学プラントにさまざまな問題を引き起こす可能性があります。そのため、天然ガストリーム中の水分含有量を正確かつ確実に測定することが極めて重要になります。従来の技術ではしばしば不十分な場合があります。幸いにも、新しいアナライザは性能が大幅に向上しています。

水分による問題の悪化

天然ガスの組成はある程度管理されています。天然ガスが商業的に取引される場所では、その化学成分や発熱量などの特性に関する規制があります。地域によって仕様や許容範囲は異なりますが、一般的には、全硫黄、硫化水素、二酸化炭素、酸素、水分の制限があります。高級炭化水素やその他の希釈ガスなど、他にも多くの成分が含まれる可能性があるため、このリストは完全なものではありません。これらの特定の成分に共通するのは、それが汚染物質であり、望ましくない物質であると考えられていることです。

- 硫黄とその多くの化合物は、天然ガスを含むすべての化石燃料において最も一般的な汚染物質であり、その毒性和燃焼時に生成される汚染物質は有名です。
- 酸素は天然ガス処理に使用されるアミンや一部のメルカプタンを分解します。
- 二酸化炭素は全体の発熱量を減少させます。



図1: 天然ガスは化石燃料や再生可能エネルギーなど、さまざまな供給源から得られるため、その組成と特性は良くも悪くも変動します。

これらの汚染物質が水分と混ざり合うと、より深刻な問題が発生します。あらゆる汚染物質は水分と反応して酸を生成し、炭素鋼製の配管、バルブ、その他の機器を侵食し、時間の経過とともに内部腐食や金属損失を引き起こします (図2)。天然ガスパイプラインは外側と内側の両方から腐食しますが、内部の金属損失は検知や測定がより困難です。

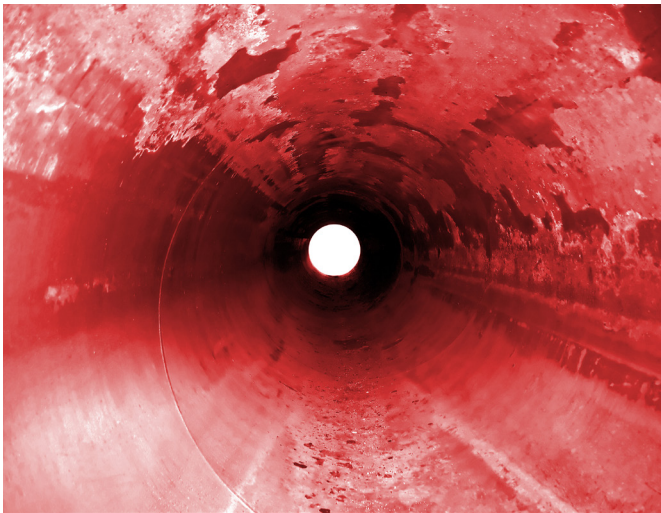


図2: 天然ガス中の水分が他の汚染物質と混ざると、腐食性のある酸が生成され、炭素鋼製の配管が内部から腐食する可能性があります。

米国運輸省の機関であるPHMSAが作成したパイプライン腐食に関するレポートでは、以下のように状況がまとめられています。

「一般的に、販売品質のドライガスはパイプラインの内面を腐食しません。しかし、坑井から採掘される天然ガスには、水、二酸化炭素、硫化水素などの微量の汚染物質が含まれている可能性があります。水が凝縮すると、二酸化炭素または硫化水素と反応して酸が生成され、低い場所に溜まって内部腐食を引き起こすことがあります」

そのため、天然ガス生産者、パイプライン会社、そしてユーザーは、当然のことながら、ガスストリーム中の水分含有量（液体と蒸気の両方）を気にすることになります。なぜなら、放置された腐食によるパイプラインの漏れや破損は甚大な損害をもたらす可能性があるためです。

所定量のガスが供給源から最終消費地まで輸送される過程で、温度が露点の上下で変動して、水分が複数回にわたって相変化を起こすことがあります。配管の低温部分で十分な蒸気が凝縮すると、低い場所に液体水が溜まります。気温が十分に低い場合、溜まった水は凍結し、固形物による詰まりを引き起こす可能性があります。この問題は、2021年2月に気温が氷点下となったテキサス州で頻発しました。たとえば水が液体のままであっても、ガス流速を増加させるほどの閉塞を引き起こし、ガスストリーム中に水滴を巻き込んだり、下流の別の場所に蓄積する液体スラグを押し出したりする可能性があります。スラグがガスタービンなどの最終使用場所に到達すると、重大な損傷を引き起こす恐れがあります。

水は化学的・物理的メカニズムによって除去できますが、これにより処理コストが増加します。したがって、タリフガスの基準を満たした後は、そのガスを処理する誘因がほとんどありません。その量は、場所によって50～200 ppmvの範囲で変動します。水が制限値を下回れば、その状態が維持され、信頼できる供給源から供給され続ける限り、それほど問題ではありません。しかし、供給は随時変化し得るため、ある時点や

場所の条件が常に持続すると想定できる根拠はありません。これらすべてを考慮すると、ガスストリーム中の個別の水分含有量をリアルタイムで把握することが非常に重要であることは明らかです。

水分含有量の測定

ガスパイプライン内の水分量を特定するための測定技術は限られており、計装機器全般に言えることですが、それぞれの技術は、実用性、精度、コストのトレードオフの関係があります。いずれの技術も、センサを挿入してリアルタイムで連続的に測定するのではなく、個別にサンプルを採取して試験を行う方法が一般的です。以下は、いくつかの一般的な電気化学的および電気機械的方法です。

酸化アルミニウム: 水分含有量は、センサ表面の微細孔に捕捉された水分子の静電容量の変化を測定することで特定されます。水分含有量が増加した後は、細孔を乾燥させる必要があります。分子が内部に閉じ込められて乾燥が不完全になったり、表面の汚染物質が細孔を塞いで分子の侵入を阻んだりとすると、問題が発生します。この技術では、グリコールやメタノールの含有量を水と誤認する可能性もあります。これらの特性により、この機器タイプはドリフトが発生しやすく、メンテナンスの手間がかかります。

五酸化リン: ガスは、水分子を電気分解できる P_2O_5 で被覆された電極を備えたセルを通過します。電極を流れる電流は、存在する水の量に比例します。ガス流量と消費電流を組み合わせることで、絶対的な水分含有量を測定できます。ただし、アナライザを通過する流量の変化や、ガス中のメタノール含有量（水として読み取られる）により、測定値が歪む可能性があります。また、このセンサは酸化アルミニウムと同様に汚染の影響を受けやすく、定期的に変換する必要があり、運用コストが増加します。

水晶振動子マイクロバランス: サンプルガスはチャンバに供給され、そこで水分子が水晶振動子に取り付けられた冷却表面で凝縮します。この作用により、生じる微量の液体の質量変化が測定されます。この方法は高感度ですが、グリコールなど、凝縮する他の液体と水を区別することはできません。サンプリングの間に機構が完全に乾燥していない場合、測定値は実際よりも高く表示されます。サンプル中に硫化水素や二酸化炭素が存在する場合、チャンバ内部の腐食が発生することがよくあります。

鏡面冷却: この方法は、露点を測定することで水分含有量を計算します。サンプルチャンバ内のガラス表面を、露点に達するまで冷却します。露点に達すると結露が発生し、これは目視または光学的に検知できます。ただし、この方法も、ガスストリームに存在する他の液体と水を区別することはできません。これらの方法に共通する欠点は、汚染の可能性があることです（図3）。コンプレッサオイル、メタノール、アミンなどの汚染物質により、測定値が遅くなったり不正確になることがあります。その他の汚染物質はセンサを汚染し、交換が必要になる場合があります。たとえば、微量の塩素やアンモニアがあると、五酸化リンを除き、これらすべての技術に損傷を与える可能性があります。

電気化学的測定方式

供給ガス汚染物質	酸化アルミニウム	五酸化リン	水晶	鏡面冷却	TDLセンサ
メタノール	▷	▷	▷	▷	✓
グリコール	▷	▷	▷	▷	✓
アミン	▷	▷	▷	▷	✓
水銀	●	✓	✓	✓	✓
硫化水素	●	▷	▷	●	✓
塩化水素	●	▷	▷	●	✓
塩素	●	▷	●	●	✓
アンモニア	●	▷	●	●	✓

図3: 電気化学的測定方式は、天然ガストリーム中に頻繁に存在する化合物に十分暴露されると、効果が失われたり損傷を受けたりする可能性があります。これらの化合物は、TDLASアナライザには影響しません。

- ✓ アナライザに影響なし
- センサに恒久的な損傷を与える可能性あり
- ▷ 遅延または不正確な測定値になる可能性あり

最終的には電気化学センサの性能低下に起因する問題は、測定技術に対する不信感を生みます。オペレータは、単に測定値が正しくないと思ひ込み、信頼できるデータの代わりに推測に基づいて行動します。そうなると、2つことが起こり得ます。1つ目は、ガスに含まれる水分量がセンサが示す値ほど多くないはずだと仮定し、本来必要な対策よりも少ない対応にとどめるため、腐食状態が悪化してしまうことです。2つ目は、ガスに含まれる水分量がセンサが示す値よりも多いはずだと仮定し、過剰な処理を行って、コストが増大してしまうことです。1つ目の状況は、安全上の事故につながる可能性があり、2つ目の状況は収益性を損ないます。この両方の課題を解決するには、正確かつ一貫性のある水分含有量の測定が明確に必要となります。

従来の波長可変半導体レーザーアナライザ

理論的な観点から、波長可変半導体レーザー吸光分光法 (TDLAS) アナライザは、天然ガス中の水分含有量を測定するのに最も効果的な手法であると言えます。赤外線波長レーザーを使用することで、ガストリーム中の水分やその他の成分を示す波長吸収スペクトルの非常に明確なピークを分離できます。つまり、このアナライザは、グリコール、メタノール、アミン、硫化水素の影響を受けずに水分含有量を測定できるということです。この基盤となる能力は物理特性の問題ですが、一般的な動作環境で実用的かつ使用に適した方法で動作させることは、製造者にとって困難な課題となっています。

TDLASアナライザは、本質的に非常に安定しており、校正はほとんど必要ありません。センサ自体は、ドリフトや化学物質による汚染の影響を受けません。ただし、そのサポート機構により、効果的な動作が困難になる場合があります。たとえば、TDLASアナライザは光学的性質を備えているため、ミラーとレンズを使用してビームを光源から検出器に誘導して焦点を合わせる設計となります (図4)。

サンプルガスは、ビームが通過する空間、つまり測定セルを流れます。サンプルに遊離液体が含まれている場合は、セルが液浸する可能性があります。ミラーに被膜が生じると、ビームが減衰または遮断されることがあります。このような問題が

いずれ発生した場合、セルのメンテナンスが必要になりますが、オペレータがこの種の問題に気付くまでには時間がかかる場合があります。これらの問題は主にサンプル調製システムに起因します。サンプル調製システムは汚染物質を捕捉し、水分含有量に影響を及ぼさないようにして、清浄なサンプルを測定セルに供給する必要があります。システムは、精度と繰返し性を確保するために、サンプルガスの温度と圧力も制御しなければなりません。メンテナンスが必要な場合、アナライザの設計によっては、非常に複雑であったり、分解が不可能であったりして、再組み立てには多大な微調整が必要になります。一部の

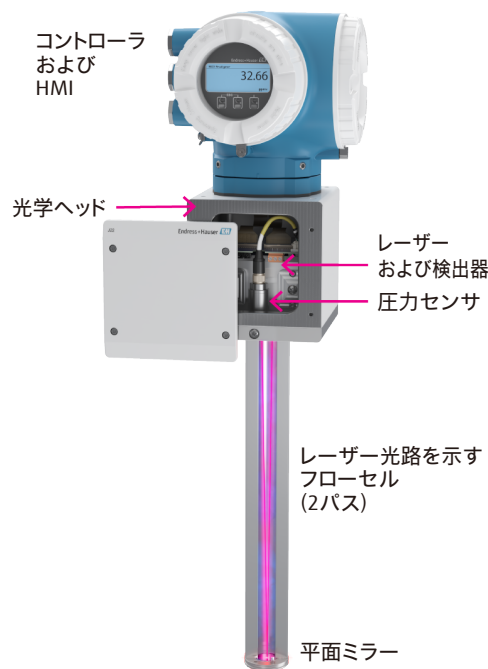


図4: ビームが通過する空間にガスサンプルは存在する必要があるため、汚染されたサンプルにより光学面が覆われてしまう可能性があります。

アナライザでは、対応するコンポーネントセットが要求されるため、高価な交換部品キットが必要になったり、エンドユーザーが修理のためにアナライザを工場に返送せざるを得なくなったりします。これにより、重要な取引計量ポイントにおける測定の可用性が低下する恐れがあります。

幸いなことに、TDLASアナライザの設計は進化を続けており、操作の簡素化とより高度な分析を実現しています。

アナライザの改善点

TDLASアナライザの改善点は、主に3つの分野に集中しています。

- 変換器の電子モジュール (HMI、データ表示、システム接続、診断を含む)
 - モジュール構造 (サンプリングシステム、光学系エンクロージャー、サンプルセル、電子モジュールを含む)
 - エンクロージャーの保護により多様な取付けに対応
- フィールド設置型アナライザは、その変換器により、幅広い機能を実現します。優れた精度、リニアリティ、繰返し性を提供するためには、基本的な計量計算機能に対応しなければなりません。また、現場表示器用の内部HMI機能に加えて、データを大規模なSCADAやその他のオートメーションホストシステムに送信するための接続性も備えている必要があります。使いやすさに大きな違いをもたらし、高い測定稼働率を実現するには、機能を容易かつ直感的にプログラミングできることが不可欠です。

Webサーバー機能を搭載した望ましい接続オプションが追加され、インターネット経由のリモートデータアクセスの範囲がノートパソコン、スマートフォン、タブレット端末など、ウェブブラウザをホストできるあらゆるデバイスまで拡張されました。この機能は、技術員やオペレータが容易にアクセスできない場所にアナライザが設置されている場合に特に重要です。リモートアクセスと内部データ保存を組み合わせることで、認定ユーザーは長期間にわたるガス分析データを容易にアップロードできます。

さまざまな点で、変換器がサポートする最も重要な新機能となるのは、機器の動作状態を示す内部診断機能です (図5)。これにより、不正確な測定値や完全な停止につながる可能性のある問題の発生を特定できます。深刻な状況が発生した場合は、アラームを発出して、直ちにメンテナンス対応を要請する必要があります。

また、継続的な評価とレポート作成も必要ですが、多くの計装機器において、NAMUR 107アラームカテゴリを用いることで、一貫性のあるデータ表示が確保され、簡素化が図られます。

アナライザはいずれメンテナンスが必要となるため、モジュール構造にすることでメンテナンス作業が大幅に容易により、コストも削減されます。従来の設計では、アクセスや再組み立てが難しく、完全な稼働状態に戻るまでに煩雑な調整が必要でした。これらの要件により、長時間の停止が発生し、

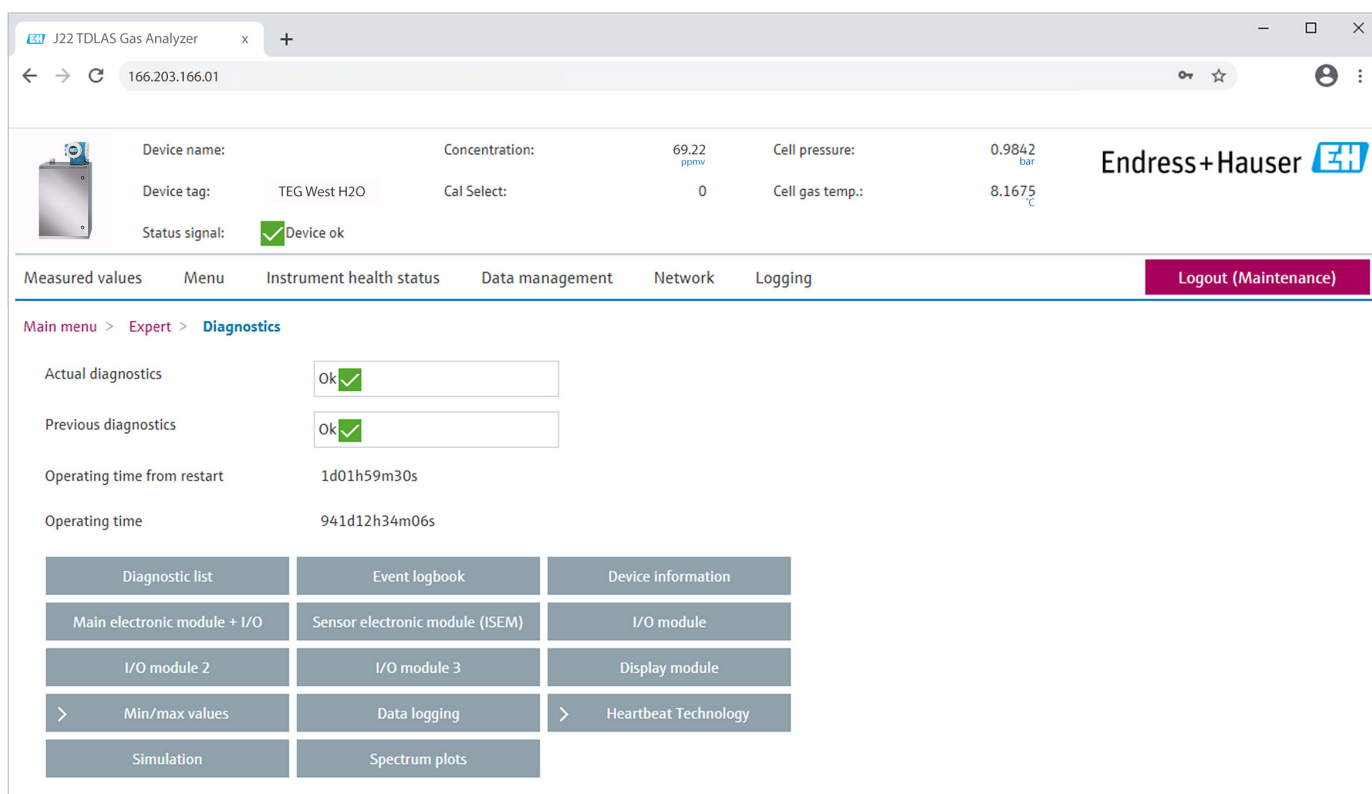


図5: アナライザの診断機能には、検出セルおよびサンプリングシステムに関連するさまざまな機能が含まれます。

ユーザーが分析データを得られない状況になることがありました。

しかし今では、主要な機能コンポーネントをユニットとして取り出すことができ、迅速に修理を行うか、または待機中の代替アセンブリに交換することで、最小限の遅延で稼働を再開することが可能になりました。詳細な診断情報があれば、技術員は必要な対応を正確に把握し、ユニットの修理前に必要な部品を手元に準備することができます。

これまでアナライザは、その繊細な機構を過酷な周囲環境から保護するために、特殊なエンクロージャーを必要とするとわかってきました。さらに堅牢な内部構造に改善されたことで(図6)、より幅広い環境温度範囲の多様な環境で設置できるようになりました。

改良されたエンクロージャーは、より優れた断熱性とエンクロージャーヒーターと組み合わせることで、湿潤で寒冷な気候でも屋外設置が可能になります。

明確なニーズを満たすソリューション

パンデミックによるエネルギー市場の不安定な状況を踏まえると、パイプラインガスの重要な特性をモニタリングすることの重要性は極めて高くなります。ガス田の変化や再生可能エネルギーの成長に伴って、何事も当然のことだと考えることはできません。パイプラインやその他の機器の信頼性と安全性を確保しながら稼働させるには、内部腐食が発生を把握することが不可欠です。腐食は、主に結露が他の汚染物質と結合することによって引き起こされます。

パイプライン天然ガスは、供給源と移送ポイントにおいて、さまざまな特性や組成について日常的に監視されていますが、これらの測定の信頼性は、適用される技術およびそのオペレータによって左右されます。水分含有量が重要な場合、頼りになるのは電気化学的手法でしたが、性能の低いセンサにより、行き当たりばったり結果になることが多くありました。その他の事例では、扱いにくいアナライザに苦勞し、正常な動作を維持するために奮闘し、修理のために工場に送り返さざるを得ないことも少なくありませんでした。

これらの困難な状況は、改良された現在の、高い精度と使いやすい操作インターフェース、そして信頼性の高い構造を兼ね備えたTDLASアナライザによって解決できます。わずか数秒間隔で継続的に測定値を取得できるため、オペレータはガス品質仕様が満たされているかどうか、あるいは対策を講じる必要があるかどうかを判断できます。また、診断データを観察することで、アナライザを24時間体制で監視することも可能です。

汚染度の高いガスによって問題が発生した場合、オペレータは測定データが何らかの形で損なわれているかどうかを把握し、状況を改善するために必要な措置を正確に見極めることができます。接続性が向上したことで、オペレータは事実上どこからでもアナライザにアクセスできるため、近くにいる必要はありません。

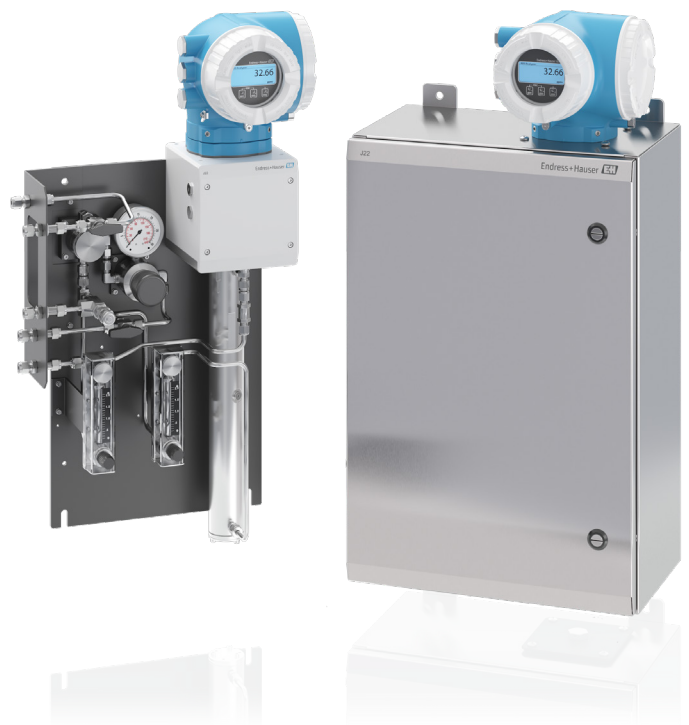


図6: 頑丈なエンクロージャーで保護された堅牢な内部構造により、アナライザシェルターは不要となります。

ガス供給が不安定な状況下では、分析結果の信頼性を把握することが重要です。

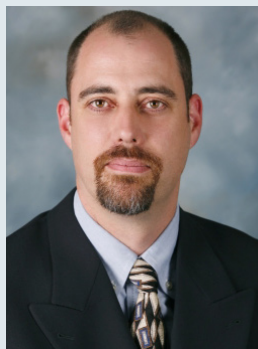
すべての図はEndress+Hauserが提供

著者紹介



Alan Garzaは、Endress+Hauserのアドバンスアナリシス製品ラインの製品マーケティングマネージャーです。彼は、ローテーションエンジンとしてEndress+Hauserでのキャリアを開始し、いくつもの計装技術の開発に携わりました。また、社内営業チームの一員としてガス分析を推進し、アプリケーションエンジニアとして経験を重ねました。

彼の経歴には、事業開発や運営管理も含まれます。Alan Garzaは、ヒューストン大学で機械工学技術の理学士号を取得しています。



Sam Miller(PE)は、Endress+Hauserで製品マーケティングを担当しています。彼には、石油・ガス市場とレーザーベースの製品の開発において20年以上にわたる経験があります。ASTM D03標準化委員会のメンバーであり、AGA、ISA分析部門シンポジウムなどの数多くの天然ガス会議、さまざまな国際炭化水素測定組織に参加しています。

Sam Millerは、カリフォルニア州立工科大学ボモナ校で理学士号を取得し、カリフォルニア大学アーバイン校において優秀な成績でMBAを取得しました。

www.addresses.endress.com