

紫外線検出センサ UV チューブの量産技術開発

Development of Mass Production Technology for Ultraviolet Sensor UV Tubes

株式会社 山武

關 宏治
Koji Seki

キーワード

紫外線検出, ガラス成形, 精密溶接, ガス封入制御, 画像処理, 燃焼安全装置

UV チューブとは燃焼安全装置の火炎検出器として使用される紫外線検出センサである。油・ガスバーナなどは火炎から紫外線を発生しており、UV チューブは特定の波長域の紫外線のみを選択的に検知する放電管の一種である。UV チューブの量産化には筐体を作るガラス成形技術、電極の溶接技術、微弱圧力制御を要求されるガス封入制御技術など高い生産技術力が必要不可欠となる。

本稿ではこれまで熟練した職人の勘、コツ、経験に依存していたガラス成形工程の機械化、画像処理技術による精密位置決めを実現した電極溶接工程、またサファイア真空計を用いることで封入ガスの微弱圧力制御を可能としたガス封入工程の量産技術について報告する。

UV tubes are used as ultraviolet radiation sensors in flame detectors for combustion safety equipment. The flame of oil and gas burners, for example, emits ultraviolet rays. The UV tube, a type of discharge tube, selectively detects only ultraviolet rays in a specific range of wavelengths. For the mass-production of UV tubes, advanced production technology capabilities are essential, such as technologies for molding the glass which forms the housing, welding the electrodes, and controlling the delicate pressure needed to introduce the gas.

This paper reports the development of UV tube mass-production technology, including the mechanization of the glass-forming process, which was previously dependent on the sense, know-how, and experience of masters in the field; an electrode welding process with precision positioning by image processing technology; and a gas-charging process in which control of the weak pressure of the filler gas is made possible by utilizing a sapphire vacuum meter.

1. はじめに

UV チューブは火炎検出器に内蔵される紫外線を検出するガラス筐体で構成された放電管センサである。工業用の油やガスバーナは燃焼時に火炎から紫外線を発生しており、UV チューブは 200nm 前後の波長域にある紫外線のみを選択的に検知することで、的確に火炎を検出することを可能としている。

UV チューブは燃焼安全装置の火炎検出器として、たとえば自動車のボディや部品の塗装ラインにおける乾燥炉やアルミ、亜鉛ダイカストに使用する溶解炉、また金属部品の焼き入れなど熱処理炉といった各種工業炉の燃焼制御の分野で幅広く使用されている。

近年、半導体の UV センサも開発されてきているが、

我々はガラス筐体の放電管での開発に強いこだわりがあった。これは何よりも使用者である顧客のメリットを最優先としたためといえる。

半導体 UV センサは微弱な信号の検出となるために、火炎検出器が使用される過酷な環境に対応するためには、複雑な増幅回路やノイズ対策が求められる。このため半導体 UV センサではガラス筐体の放電管に比較して当然製造コストが高くなってしまふ。さらに燃焼安全装置として半導体 UV センサでは、未だ信頼性にも疑問が残る。日本のモノづくりを下支えするすべての使用者、顧客の皆さまに低価格で長寿命、また定期保全などの交換時に調整が不要であるガラス筐体の放電管を市場に安定供給するために量産技術の開発を行った。

2. UV チューブ

2.1 UV チューブの基本構成および特徴

UV チューブは硬質ガラスで構成されたガラス管体を持ち、内部空間にタングステンからなるアノード電極、カソード電極一対の電極板を備えており、特殊な混合ガ

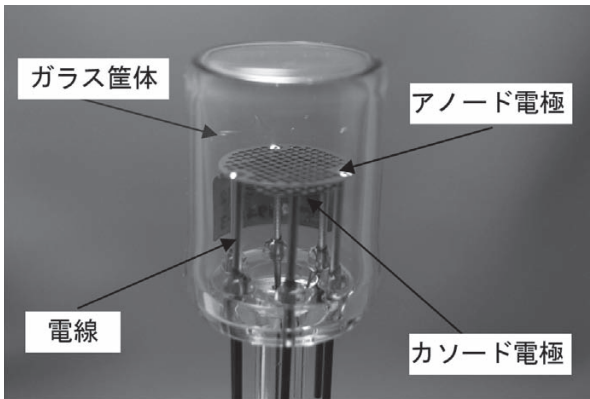


図1. UV チューブの構造

スが封入されている放電管である。2枚の電極板は一定間隔で、平行に配置されるように、それぞれ3本の電線に溶接されている。上面に配置されたアノード電極はメッシュ状に多数の貫通孔をもち、電極間には所定の電圧が印加されている。ガラス管体を介して入射された紫外線がアノード電極の貫通孔を通じてカソード電極に到達すると、封入された混合ガスが励起され、電極間に放電現象が発生する。この紫外線による放電現象を利用して、火炎の検出を行うセンサがUV チューブである。

火炎から発せられる特定領域の波長の紫外線のみによって放電が発生し、紫外線の入光が止まれば、直ちに放電がおさまることが、UV チューブの重要な性能の一つである。この性能を発揮できるUV チューブを市場に安定して送り出すためには、UV チューブを製品設計通りに、固体差なく生産する量産技術の開発が必要である。



図2. アドバンスト UV センサ AUD300C

UV チューブは燃焼安全装置である火炎検出器アドバンスト UV センサ AUD™ シリーズに搭載され、火炎の有無検出を的確に実現している。

2.2 UV チューブ製造における生産技術課題

UV チューブが安定した放電特性をもち、再現性よく紫外線を検知するためには、いくつかの要素があるが、アノード電極、カソード電極の2枚の電極板が正確に一定の間隔でかつ、平行に配置されていることが、最も重要な要素といつてよい。

このような電極をUV チューブに作り込むためには、まず電極が溶接される6本の電線が、正確に配置されたガラス成形部品、ボタシステムが必要となる。またUV チューブの管体を作るためにはボタシステムなどいくつかのガラス成形部品があり、これら一つ一つの部品精度が、最終的には電極の位置精度に影響を与えてしまう。ガラス成形には個々の部品を成形するだけでなく、複数のガラス部品を接合する加工工程もある。こうしたガラス成形工程の開発と量産設備としての自動化が、第一の生産技術課題であった。

さらに当然のことながら、電線への電極板の精密溶接工法の開発が必要であった。今回使用したタングステン電極は厚さが0.1mmと薄く、特にアノード電極は多数の貫通孔を持つため機械的な強度が低い。溶接時に負荷をかけてしまえば簡単に变形してしまい平行に配置することができなくなる。機械的な剛性に乏しい電極をいかに变形させることなく、決まった間隔で平行に溶接することが第二の生産技術課題であった。

UV チューブの放電特性を決定するパラメータの一つとして、封入されるガスの圧力が挙げられる。一般に平行な電極間での放電開始電圧は、封入されたガス圧と電極間隔によって決定することが知られている。UV チューブには電極間に一定の電圧が印加されているためガスの封入圧が変化してしまうと当然、放電特性に影響が及ぶ。封入工程の精密圧力制御の開発と量産設備化が第三の生産技術課題であった。

このほかにもUV チューブを安定的に量産するためには多くの生産技術的課題は存在するが、本稿では、ここに挙げた3つのプロセスにおける工法開発、設備開発について次項で述べる。

3. UV チューブの工法開発と量産技術開発

3.1 精密ガラス成形

UV チューブの管体を構成する硬質ガラスは作業温度が1000℃以上と非常に高いため、加熱にはガスバーナが使用されている。ガスバーナには高温でシャープな形状の火炎を得るために、可燃性ガス、支燃性ガス、そして空気など複数のガスが使用されている。安定したガスバーナの火炎を得ることが、ガラス成形を安定させるための第一歩となる。従来は安定した火炎を得るために、

熟練した職人による勘、コツ、経験によりガスの圧力や流量を調整することが行われてきた。筆者らは、この職人の目や感覚を質量流量計マスフローコントローラに置き換えることで、再現性のあるガスバーナの火炎を得ることに成功した。

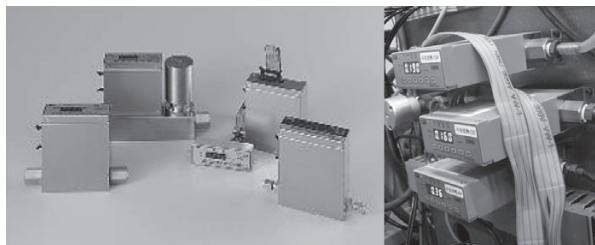


図3. マスフローコントローラ CMQ

今回使用したのは当社製品であるマスフローコントローラ CMQTM-V である。ガスバーナの火炎を制御するためには、特に支燃性ガスである酸素 O₂ の流量制御が重要となる。これは酸素の量がわずかに変化するだけで、火炎の温度が変化するだけではなく、火炎の形状が変化してしまうからである。ガラス管体の骨格ともいえるボタンステムのように、微細な形状を成形するためにはシャープな火炎が必要となり、ガスバーナの火炎制御の精度そのものが、生産歩留に直結しているといっても過言ではない。

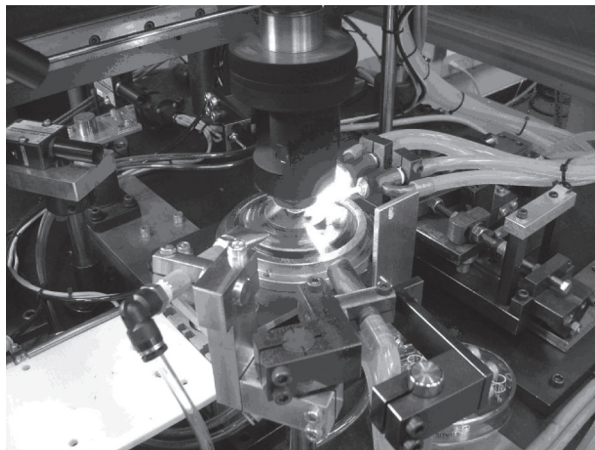


図4. 自社製ガラス成形機

マスフローコントローラ CMQ-V は供給ガスの圧力変動による影響を受けない質量流量制御であるため一系統のガスラインから複数のガスバーナに分岐させても、個々のガスバーナは設定された流量を安定して供給することが可能である。

筆者らが開発したガラスの成形プロセスは金型温度、ガラス温度を常時計測し、この温度データをガラス成形機のコントローラにフィードバックすることで、火炎の強さおよび金型のプレスタイミングを制御している。わずか数10秒の間にガラスは常温から1000℃以上まで加熱され、形状も劇的に変化していく。この変化をこれま

では職人が目で色や形を見て成形機を操作していたが、我々はこの職人の目を複数の温度センサに置換え、職人の経験を自社で開発した成形機にフィードバックし、経験をデータとして蓄積していくことで、安定した量産技術として日々進化している。

3.2 電極板の精密溶接技術

UV チューブの電極板の溶接工程としては、まずカソード電極をボタンステムにある6本のうち、3本の電線の端面に突き当て溶接、固定する。次に所定の間隔でカソード電極に平行になるようにアノード電極を配置して、アノード電極から突き出した電線の先端を溶融させることで溶接を行っている。

前述の通り UV チューブの放電特性を決定する重要な要素として、

- (1) 電極間隔が所定の範囲内にあること。
- (2) 2枚の電極が平行に配置されていること。

この2点が挙げられる。

まず電極間隔については、間隔が広すぎれば当然放電現象が発生しにくくなるため紫外線センサとしての感度は低下してしまう。反対に間隔が狭すぎれば本来、放電を発生させてはならない波長領域の光に反応し誤検知してしまう可能性や、紫外線の入光が遮断されても放電が止まらない、いわゆる偽放電による誤検出を引き起こしてしまうことが考えられる。

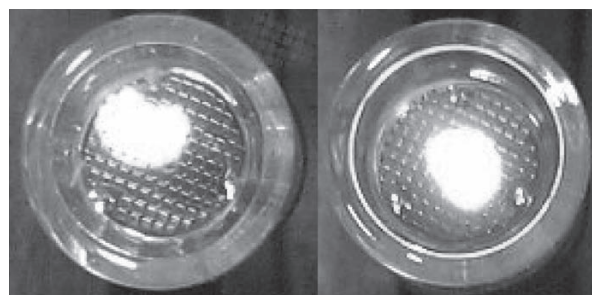


図5. 放電位置の比較 (左: 放電が中心からずれている
右: 放電が中心で発生している)

また2枚の電極板の平行度が確保できないと、狭い領域が、相対的に印加電圧が高くなり、集中的に放電が発生してしまうためセンサとしての寿命が短くなる傾向にある。

電極の精密溶接を量産技術として、実現する工法の一つとして画像処理による溶接箇所の自動検出と位置決めを行った。電線はわずか直径0.65mmであり、電極の端面のどの部分を溶融させるかによってアノード電極の変形状態が毎回異なってしまう。わずか数10μmの反りや傾きが、UV チューブとしての放電特性に影響を与える工程であるため、人の目や感覚に依存することなく自動化することが、安定した量産には不可欠であった。

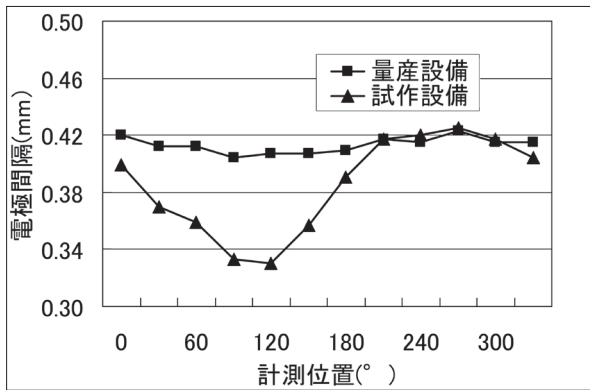


図 6. 溶接後の電極間隔の比較

図 6 に目視で溶接位置を決めていた試作設備と画像処理による位置決めを行った量産設備での電極間隔の違いを示す。電極間隔を円周方向に 30° ずつ 12 点測定している。試作設備では全体的に傾いているために、サインカーブを描いているのに対して、量産設備では、ほぼ平坦であり、電極間隔が全周にわたり傾きや変形が小さいことが確認できる。

さらに溶接した後の出来栄評価として、電極板を側面から連続的に複数箇所を撮影し、電極間隔が工程内基準で定められた範囲内にあるか画像処理によって自動計測する検査を行っている。

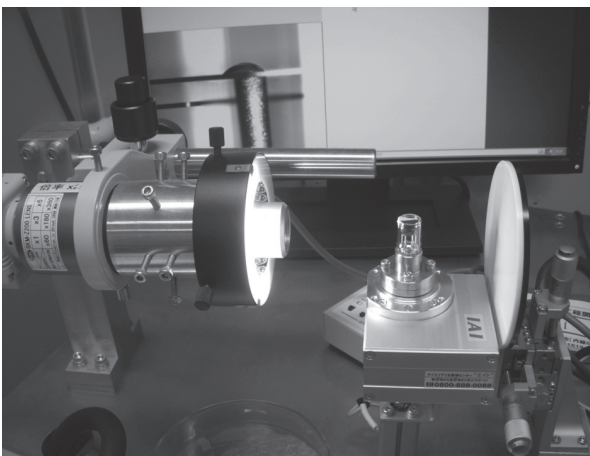


図 7. 電極間隔の自動計測設備

溶接工程では人が行うに有利な作業は人が行い、人が困難もしくは、人の作業では信頼性に欠けてしまう溶接の箇所的位置決めや電極間隔の検査などは機械が行っている。これは当社の企業理念である「人を中心としたオートメーション」を生産工程設計に適用した結果である。

3.3 ガス封入プロセスの開発

今回、筆者らが量産技術を開発した UV チューブは、より多くの分野へ提供できるようにする目的で、大幅なダウンサイジングを行っている。

UV チューブは小型化にすることで耐振動性、耐衝撃

性が向上するため、これまで使用が困難であった過酷な環境への適用が可能となる。



左側：
今回開発した UV チューブ
右側：
従来の UV チューブ

図 8. UV チューブの比較

その反面、従来と同等以上の機能を得るためには、これまで述べてきた構造体の寸法精度だけではなく、放電特性を決定するもう一つの重要な要素であるガス封入圧に対してもより高い精度が要求されるのである。これを実現する手段として、我々が選択したのは当社製品であるサファイア真空計 COVAC™ である。



図 9. 自社製ガス封入装置

サファイア真空計 COVAC をガス封入装置に選択した理由は 2 つある。

- (1) ガス封入プロセスでは高真空から大気圧まで数段階の圧力制御が必要であること。
- (2) 封入ガスには半導体の生産プロセスと同等のクリーン度が必要であること。

これら 2 つの要求に満足することができかつ、速い応答性をもつサファイア真空計は、ガス封入プロセスの圧力センシングには最適であった。

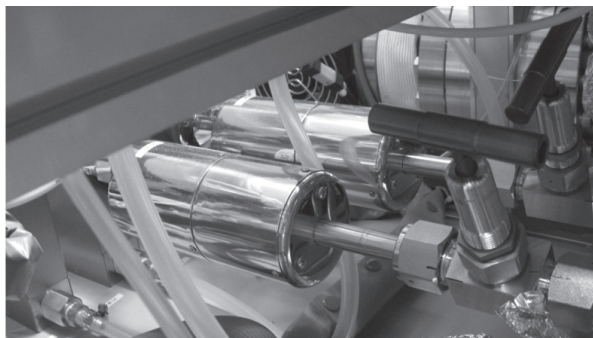


図 10. ガス封入装置に導入されたサファイア真空計

サファイア真空計 COVAC とマスフローコントローラ CMQ-V を組み合わせることで、複数台の UV チューブに同時にガスを封入するプロセスと量産設備を開発することができたのである。

4. UV チューブの量産設備

本稿では火炎検出センサ UV チューブの工法開発および量産技術開発への取組みとして、ガラス成形工程、電極の溶接工程そして、ガス封入工程について報告してきた。しかしながら実際に UV チューブを量産するためには、今回報告した3つの工程以外にも多くの重要工程が存在する。

これらすべての工程が、目的通りに機能することではじめて、UV チューブを求められる仕様を満足する製品に作り込むことができると考える。

UV チューブの量産設備には自社の計測、制御機器が多く使用されている。本稿でも報告したようにマスフローコントローラ CMQ-V、サファイア真空計 COVAC に加えて、温調器としては計装ネットワークモジュール NX、デジタル指示調節計 SDCTM、マンマシンインターフェースとなるスマートターミナル大型マルチチャンネルプログラマブル表示器 EMS などが使用されている。当然ほとんどの設備には、光電センサ HPX や HP100 や近接センサ FL7M などが、使用されている。

つまり、ほとんどの設備の重要な機能を担う計測器や制御機器、センサは自社製品で賄うことが可能な環境にある。

さらにはガラス成形でもっとも重要な部品である金型も自分たちで設計し、自社の工機機能を駆使して試作型から量産型までを製造することができる環境をもつ。

前述したように、当社の企業理念は「人を中心としたオートメーション」で社会に貢献することである。持てる生産技術開発環境を武器に、UV チューブのすべての量産設備に、この企業理念を適用していくことが、筆者ら生産技術に携わるものの使命と考えている。

今後もさらに量産設備を進化させて、安心・安全・達成感をつかさどる UV チューブを提供していく所存である。



右上：
プログラマブル表示器 EST
左上：
計装ネットワークモジュール NX
右下：
デジタル指示調節計 SDC

図 11. 量産設備に導入された制御機器

5. おわりに

UV チューブは長年の研究開発を経て、本格的な量産へ移行することが可能となりました。これは長きにわたり、真摯に技術開発にあたられてきた製品開発者の努力と厳しい目で UV チューブの性能を評価頂いた顧客の皆さまのお陰に他なりません。また量産工程開発、量産設備開発でご協力を頂きましたすべての皆さまにこの場をお借りして、御礼申し上げます。

<参考文献>

- (1) 熊澤：焼安全制御技術を用いたコントローラの開発
azbil Technical Review (2011), pp. 70-75,
株式会社 山武
- (2) 関根, 石原, 差波, 谷：サファイア高温隔膜真空計のセンサ素子・パッケージ開発,
azbil Technical Review (2011), pp. 28-34,
株式会社 山武

<商標>

AUD, CMQ, COVAC, SDC は、株式会社 山武の商標です。

<著者所属>

關 宏治 技術開発本部基幹技術開発部