

エステックの製品・技術の流れ

原 清明

要旨

株式会社エステックは、公害測定機器の目盛り統一を事業目的として1974年に設立されたスタンダードテクノロジーをルーツとしている。設立以来、当社は気体・液体の流量計測や制御をコア・テクノロジーとして発展し、特に半導体産業向けにマスフローコントローラを製品化してからは、その優れた性能と安定性が世界中から高く評価されている。本稿では、エステックの製品と技術の流れと共に、マスフローコントローラの最新動向を紹介する。

1 スタンダードテクノロジーの設立

エステックは日本中が公害対策に追われていた1974年1月19日「株式会社スタンダードテクノロジー」として設立された。

日本では高度経済成長の影の部分である環境破壊を何とか食い止めようと、1970年のいわゆる公害国会を契機に、大気汚染や水質汚濁に関する規制が強化された。一方で、国は規制の基となる環境用計測機器の整備を急いだ。

1972年には、当時の通商産業省は「公害計測用濃度計」を計量法上の法定計量器に指定すると共に、財団法人機械振興協会の新機械普及促進事業として「公害計量器検定用標準ガス発生装置」の開発を決めた。この装置の製作委託を受けたのが、毛細管式流量比混合法(図1)により独自の標準ガス検定技術を保有していたHORIBAである。

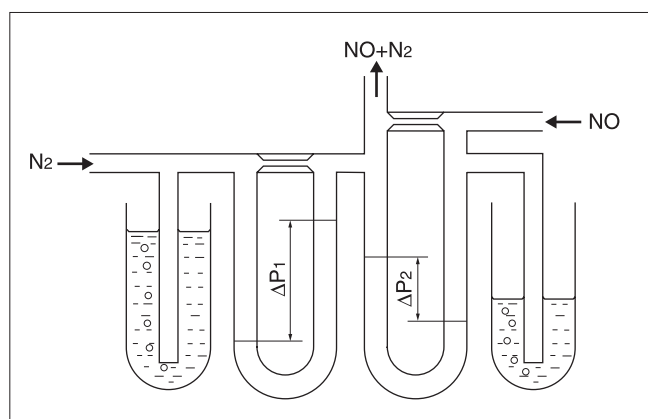


図1 毛細管式流量比混合法

当時のガス分析計は、ボンベに充填されたガスをガスクロマトグラフィなどで値決めし、これを使って濃度校正を行っていた。しかしこの方式では、真値が不明確で経時変化が大きいなど問題点があった。HORIBAでは、赤外線ガス分析計を製品化した当初から、毛細管式流量比混合法により標準ガスの濃度を検定し、これを使って分析計を検査・出荷しており、お客様から高い評価を得ていた。これが、日本のガス濃度のメートル原器とも言うべき公害計量器検定用標準ガス発生装置 SGGGS-1(図2)の開発受託へとつながった。



図2 公害計量器検定用標準ガス発生装置 SGGGS-1

その後、通産省は国の環境行政発展のために「標準ガス発生技術『毛細管式流量比混合法』」を広く公開するよう打診してきた。堀場雅夫社長(当時)は「せっかくの強みを失う恐れもあるが、当社の技術が公に認められたことは大変喜ばしいことだ。」と、この申し入れを快諾した。と同時に、この事業は計測機器業界が結集して行うべきだと考え、計測機器メーカー、標準ガスメーカーと共に1974年1月19日「株式会社スタンダードテクノロジー」を設立した。

2 毛細管式流量制御法からマスフローへの転換

その後、スタンダードテクノロジーは、毛細管式流量比混合法を用いたコンパクトな標準ガス発生システム(SGGUシリーズ)や標準ガス分割器(SGDシリーズ)を次々と開発し、地方自治体や自動車メーカー、触媒・化学メーカーなどさまざまな業界で採用頂いた。

一方、エレクトロニクスの発展と共に標準ガス発生装置も電子化が求められた。しかし、機械的原理に基づく毛細管式流量比混合法は、ガスの流量の検出や制御を直接電気信号として取り出すには不利であった。

当時、電気信号を直接取出せる流量制御素子としてマスフローコントローラ(MFC)が米国で開発されており、早速これを標準ガス発生システムへ組み込むことを試みた。しかし、標準ガス発生システムの混合精度1~2%を実現するためにはMFCにはフルスケール $\pm 0.5\%$ 以上の高い精度が必要となり、当時市販されていたMFCでは対応できなかった。そこで、標準ガス発生システム用として高精度MFCの開発に取り組んだ。

3 半導体のエステック誕生

当初、MFCは標準ガス発生システムへの組み込みを目指して開発を進めていたが、流体の流量計測・制御の市場調査を進める中で、半導体産業でのニーズが高いことを知った。試作品を半導体デバイスメーカーに持ち込んでPRしていると、1社から精度、再現性、リニアリティが輸入品より良いと評価を頂いた。この成果を基に生まれたのが最初のマスフローコントローラSEC-L/LU(図3)である。

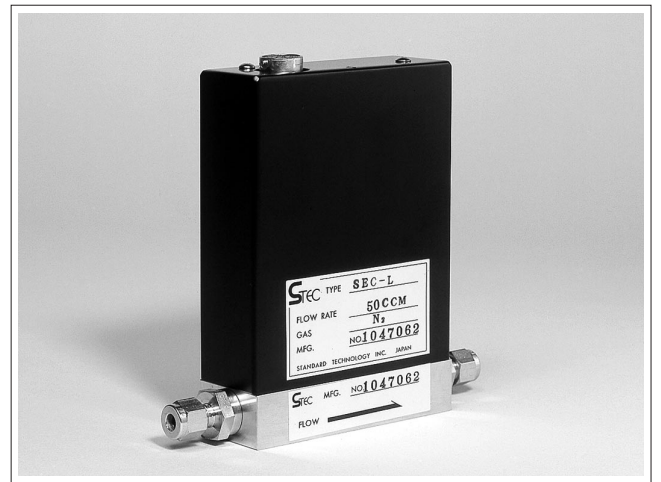


図3 エステック最初のマスフローコントローラSEC-L/LU

本MFCは、流量制御バルブにはサーマル方式を、バイパスには層流素子を採用し、センサとバイパスの流量比率が変化しにくいいため、特にリニアリティの良さが高く評価された。この頃から当社の半導体市場への本格的な挑戦が始まった。

半導体市場に進出した1980年頃から当社は順調に伸び始め、1984年には売上高が10億円に到達した。同年、創立記念日を機に社名を「スタンダードテクノロジー」から「エステック」へ変更した。この社名は、スタンダードテクノロジーの頭文字「エス」とテクノロジーの「テック」を取ったものである。

4 ウルトラクリーン・テクノロジー

MFCは、半導体プロセスにおいて流量制御素子としてなくてはならない大変重要な役割を担っている。半導体デバイスの微細化や多層化に伴いプロセスガスはますます高純度化、多様化しており、MFCにも耐腐食性、無塵化などいわゆるウルトラクリーン化が求められている。

SEC-4000シリーズ(図4)はこれらのニーズを受けて開発した世界初のウルトラクリーン対応のMFCで、次のような特長がある。図5にSEC-4000シリーズの内部構造を示す。



図4 SEC-4000シリーズ

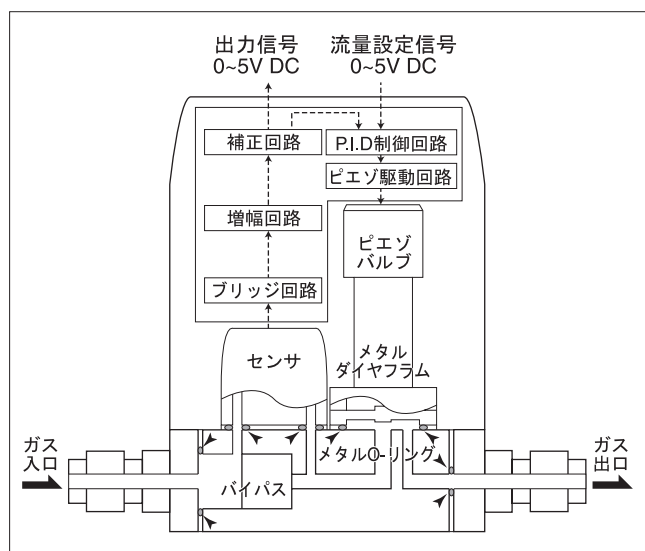


図5 SEC-4000シリーズの内部構造

(1) 高速応答

SEC-4000シリーズは世界で初めてバルブのアクチュエータに piezo 素子を採用することにより、超高速応答を実現した。また piezo 素子の大きな駆動力を利用して、バルブをウルトラクリーン対応可能なダイヤフラム構造にすることが可能となった。なお当時の piezo 素子には HORIBA のパイロセンサと同一の圧電材料を採用した。

(2) リークフリー

不純物がガス系内に混入したり、危険なガスが系外に漏れるのを防ぐため、MFCには高い気密性が要求される。SEC-4000シリーズでは、シール材として中空ステンレス金属を採用し、Heガスのリークレートを $1 \times 10^{-11} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下まで低減した。

(3) パーティクルフリー

パーティクルは半導体デバイスの生産歩留まりを左右する重要なパラメータである。MFCの流量コントロールバルブは駆動部を持つため、パーティクル発生の原因となる。当社は、メタルダイヤフラムの表面粗度をサブミクロン以下に仕上げ、オリフィスの面と面とのクリアランスを制御することにより摺動部を一切取り除き、更にネジを一切用いない構造とすることにより、パーティクルフリーを実現した。

(4) アウトガス

高純度ガスを供給するためには、ガス成分、特に水分の吸着・脱着を極力防がなければならない。SEC-4000シリーズでは、接ガス部をすべてメタル化することにより吸着・脱着を低減すると共に、ベーキング処理によるアウトガスを容易にした。

(5) デッドボリュームの最少化

MFCの内部にガスの滞留部分(デッドボリューム)があると、ガスラインのパージや排気に時間がかかり、不純物が残る危険がある。当社では、コントロールバルブをダイヤフラム方式にし、それを piezo アクチュエータで駆動することにより、デッドボリュームを最少化した。

(6) ダウンサイズ

ガス供給系は設置スペースの点から、できる限り小型化が望まれている。SEC-7300シリーズでは、すべてのパーツの小型化し、面間距離を 106mm と大幅なダウンサイズを実現した。

5 世界一の流体制御機器メーカー

エステックはこれまでの歴史において半導体市場における確固たる地位を築き上げてきたが、更に技術・製品の質と幅を広げ、グローバルな展開を図り「世界一の流体制御機器メーカー」を目指している。

5.1 集積化ガスパネルとモジュール化

ハード面では、より小型でメンテナンス性の良いガス供給系が強く求められている。従来は、個々のコンポーネントを配管で接続しているため小型化に限界があった。これらの背景の基に開発されたのが集積化ガスパネル対応のMFC SEC-G100である。SEC-G100は、最新の3D CADを駆使して設計し、39mm角と世界最小クラスを実現した。また、SEC-G100は、フィルタやバルブなど他のコンポーネントと一緒に1枚の集積化ガスパネル上に表面実装ができるよう接合部の仕様を標準化している。図6集積化ガスパネルの一例を示す。

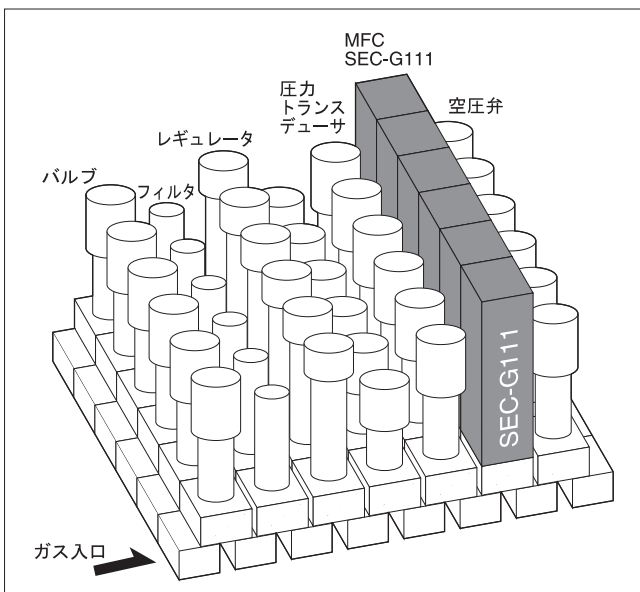


図6 集積化ガスパネル

当社では、集積化ガスパネルのコンセプトを更に発展させ、流量制御機能、圧力センサ、レギュレータ、フィルタ、温度センサなどを1つのデバイスに集約したガスフローモジュールSEC-Z70Dシリーズを開発した。このハイブリッド化されたガスパネルは、ガス系のトータルコスト低減、小型へのお客様の要望につながるものである。

5.2 液体材料気化供給システムへの展開

半導体プロセスの高度化・多様化に伴い、各種の薄膜形成方法が開発されている。中でも、化学的蒸着法（CVD）は、ステップカバレッジが良好で、スループットも高い薄膜形成法として多用されている。CVDではさまざまな液体材料を気化して成膜チャンバに正確に導入するMFCが求められている。半導体製造工程で使用される液体ソースにはさまざまな種類があり、絶縁膜ではSiO₂膜に代表されるTEOSがあり、そのドーパントにTEB、TEPOを添加した物はBPSG膜と呼ばれている。

最近の半導体デバイスの高機能化に対応するためにキャパシタやゲート膜には高誘電率材料が使われ始めている。一方で、配線容量の低減を目的とした低誘電率材料（Aurora[®]、TMS等）も検討されており、配線材料としては従来のAlより低抵抗なCuのソース材料も使用され始めている。

これらの液体ソースを半導体製造装置に供給するにはガス化させるための気化器が必要で、エステックでは液タンク加熱と高温用マスフローを組み合わせたベーキング方式のリキッドソースコントローラ（LSC）を開発した。システムが簡素でコスト面の優位性があるため、更にコンパクト化・標準化を推し進めている。

一方で液体材料そのものの流量測定用としてペルチェ素子を使った冷却方式の液体微量マスフローメータLFシリーズを1988年に世界で初めて製品化し、続けてコントロールバルブを内蔵した液体微量マスフローコントローラLVシリーズを加えた。更に、1990年には液体MFCに気化器を組合せた液体材料気化供給システムTLシリーズを製品化した。本シリーズは液相供給材料の流量を計測・制御し、これを全量気化・供給する方式で、ダイレクトインジェクション（図7）と呼ばれている。

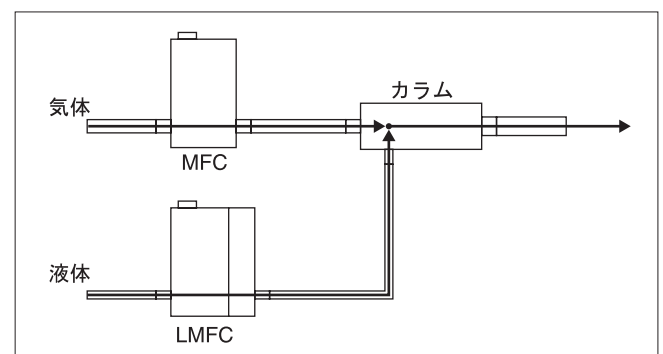


図7 ダイレクトインジェクション

ダイレクトインジェクション方式を発展させ、枚葉式の半導体製造装置に対応させたものが液体材料気化供給システムVCシリーズ(図8)である。本シリーズでは、高沸点・腐食性と取り扱いが困難な材料を0.001ml/min以下の微少流量を制御したいとのニーズに応えて、液体MFMまたは高温対応のMFMとの組み合わせでコンパクトなシステムを実現した。更に、液体材料タンクからチャンバまでを含めたトータルな液体材料気化供給システムもラインナップしている。



図8 液体材料気化供給システムVCシリーズ

5.3 デジタル化

1990年、CPUを搭載した世界初のデジタルMFC(DMFC)SEC-F1シリーズの製品化に成功した。デジタル化により、流量制御精度の向上、特性が異なるガスの流量を1台のMFCで制御できるマルチ検量線機能、全制御範囲における高速応答など機能の向上が容易となった。更に、流量の制御状態の変化からガス供給系の異常を監視する機能、センターアラーム機能を持たせたSEC-F700シリーズは、デジタルMFCの効用を広く認識させた。

またDMFCのアプリケーションソフトとして、制御状態を監視・自動保存して、より高度な不具合予知や原因解析が行えるソフトの製品化や、校正ガス種・流量値が容易に変更でき、DMFCの機能をフルに活用できるソフトの製品化も行っており、エステックではこれらのソフトの開発にも力を注いでいる。

5.4 リーディング・スケール(RS)、マルチ・ガス(MG)、マルチ・レンジ(MR)化

MFCの性能指数の一つに流量精度がある。従来、MFCの制御精度をフルスケールに対する精度(Full Scale精度)で評価していたが、より厳密に制御するために、設定値に対する精度(Reading Scale精度)が用いられるようになってきている。また、一台のMFCで複数のガス種や広い流量範囲仕様に対応(マルチガス化、マルチレンジ化)できるように、従来の一点コンバージョンファクタ(CF:センサの同一出力値でのN₂に対する実ガスの流量比)と違った新たなアルゴリズムを開発し、サーマルセンサ方式MFCとしての極限に挑戦している。更に最近開発した制御方式「連続最適化PID」を用いて、全流領域に渡って数百ミリ秒の応答速度の達成が可能となった。

MG/MR対応のMFCでは、お客様はCFを意識することなく、希望のガス種、流量をパソコンで入力することによって希望のMFCとなる。従って、ガスごとに用意すべきMFCの種類を大幅に削減できることになり、ユーザであるデバイスメーカーや装置メーカー、そして当社にとっても在庫数を極端に削減することが可能となる。このタイプのMFCはSEC-Z300シリーズとして既にアメリカの装置メーカーに出荷されている。

表1にSEC-Z300シリーズの主な仕様を示す。

表1 SEC-Z300シリーズの主な仕様

型式	SEC-Z302	SEC-Z303
接ガス部材質	SUS-316L	
流量範囲	5 SCCM ~ 500 SCCM	1 SLM ~ 10 SLM
制御バルブ	ピエゾバルブ NC/NO	
流量精度	±1% R.S. (25 ~ 100%) ±0.25 F.S. (2 ~ 25%)	
応答速度	1秒以下(T ⁹⁸)	
流量設定/出力	アナログ出力: 0 ~ 5VDC/0 ~ 100% F.S. デジタル出力: RS485	
標準機能	オートクローズ/クイックスタート	

5.5 DeviceNet™通信

半導体製造工場の生産性向上の切り札として、共通のプロトコルを使用して製造ラインに含まれるすべての機器のネットワーク化が進められている。DeviceNet™はオープンなグローバルスタンダードとしてODVA(Open DeviceNet Vendor Association, Inc.)が推進している通信プロトコルで、国内外のデバイスメーカーや装置メーカーが導入を図っている。

当社では 既存の高性能デジタルMFCにDeviceNet™通信機能を搭載したSEC-Z10Dシリーズを製品化した。SEC-Z10Dは、第三者機関が実施する各種の機能試験 (ODVA Conformance Test, ODVA SEMI SIG Test, Texas A&M University Marathon Testなど)をパスし、高い性能と信頼性が確認されている。図9にSEC-Z10D DeviceNet™を使ったネットワーク構築例を示す。

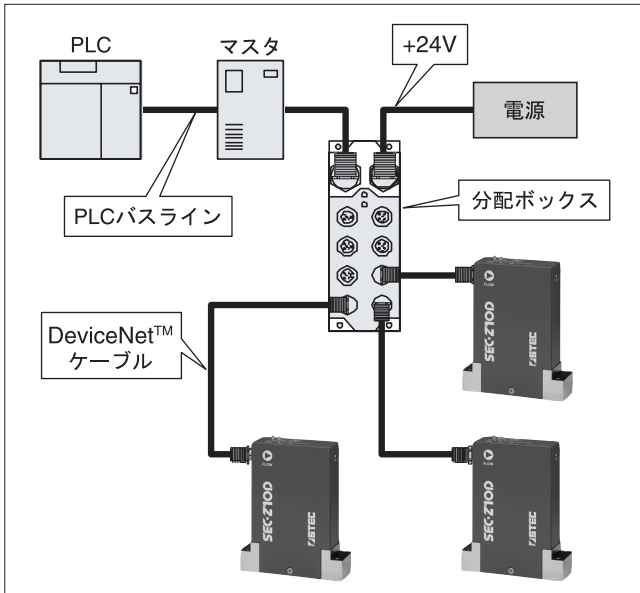


図9 SEC-Z10D DeviceNet™を使ったネットワーク構築例

6 今後の方向性

エステックは、技術・製品の質と幅の更なる拡大を目指して、次のような新たな取り組みを展開中である。

(1) 圧力計測/制御の技術と応用

当社は流量制御の他、既に排気圧コントローラを含む圧力制御機器 (URシリーズ、ECシリーズ) を製品化している。また、ソニック方式やガスフローモジュールSEC-Z70Dシリーズのように圧力センサを内蔵したMFCも開発している。圧力の計測・制御技術や機器はますます重要になっている。エステックは、本技術を今後の基幹技術の一つと位置づけ、積極的なアライアンスを含めて、その技術及び応用製品の育成に努めている。

(2) 残留ガス分析計 (RGA : Residual Gas Analyzer)

超小型四重極質量分析計を使った半導体装置のチャンバ・ガス系に関連する応用製品を検討中である。これにより、従来感覚的に行っていたチャンバの定期メンテナンスやPVD、Etcher、イオンプラなどのコンタミネーション・コントロールに威力を発揮するものと期待されている。

7 おわりに

エステックは設立以来、流体の計測・制御技術をベースとしたさまざまな製品を開発してきた。特に近年は、半導体のグローバル市場で「MFCはエステック」と評価いただけるようになってきた。半導体市場で培った技術・製品を半導体以外に応用展開することも半導体市場の大きな振幅に耐える体質を作るのに必要なことである。

今後は、MFCを中心とした当社独自の製品・技術を更に発展させ、一方ではHORIBAグループ各社との技術の融合を図り、より高度な、より良い製品とサービスを、よりスピーディに提供していきたいと考えている。



原 清明
Kiyooki Hara

株式会社エステック
執行役員 開発本部長兼
株式会社堀場製作所
半導体・科学システム統括部長