

知ってますか??



雑学講座

蚊屋の効用

触媒燃焼ガスセンサ

作・光藤 裕之 岡山理科大学 名誉教授

〒703-8217 岡山市土田1009-3 TEL/086-279-6011

CCT (Catalytic Combustion Thermometry) ガスセンサでは、空気中の可燃ガスは触媒球を囲む粘性境界層を介して拡散供給される。この供給速度は境界層温度の $3/4$ 乗程度で増す。一方、触媒表面で燃焼・消費する速度は表面温度とともに指数関数的に増大するから、ある温度以上では燃料の供給が消費能力を下回る。この温度領域では触媒燃焼速度は拡散供給速度に支配される(拡散律速条件)¹⁾。

かくて、CCT 応答は指数関数的温度依存と触媒活性依存を免れる。しかし、粘性境界層が薄いほど、この層にかかる可燃ガスの濃度勾配が増し拡散速度が増す、つまり物質輸送抵抗 Z が減る。同様に境界層が薄いほど、層にかかる温度勾配が増し熱流が増加する、つまり熱抵抗 R が減る。層の厚さは沖合いの気流速度が増すと薄くなる。この Z と R の気流速依存は CCT 機能から排除されねばならない。本稿で「蚊屋の効果」と私が渾名する解決策を述べる。

この解決策には副産物がともなう。① 拡散律速温度領域が低温度側に広がり、センサの動作温度を下げられる。② 鉛直に対するセンサの傾き角度依存が抑制される。③ ガス濃度に比例するブリッジ出力が得られる。

ふるい分けと緩和作用

和英辞書を引くと、蚊屋(蚊帳)は mosquito net とされているが、しっくりしない。そこで英和辞書で screen を引く。① (風・熱よけまたは目隠し用の) ついたて、びょうぶ、カーテン、② (窓・戸などの防虫用) 網、網戸、③ (土・砂・石・石炭などをふるい分ける) 粗目のふるい、④ (映写用) スクリーン、等とされている。「カーテン、ふるい」を意味する中期英語にもとづくという。

ここで、暗幕や厚手のものでない普通のカーテンは強い外光を遮蔽し室内光をやわらげる。レースのカーテンは強い外光を反射・散乱させ屋外から室内を見えにくくする。映像スクリーンはカーテンの反射・散乱の機能を

強めたものである。カーテンは光に関するふるい分け機能をもつ。上記はいずれも選択通過によるふるい分け機能で共通する。

圧力勾配に駆動される空気(気体物質)のまるごとの輸送(気団輸送/対流)が風である。空気分子のブラウン運動による拡散の流れは風ではない。網目は対流を遮断するが、拡散の流れは許す。そのため、透け透けのストッキングは保温性をもちつつ汗を放散し得る。固体壁に接する流体分子は吸着力を受けて動けない。沖合いの流れは壁に近づくに従って内部摩擦力によって制動される。制動加遷移領域が粘性境界層であるが、固体と固体の間隔が狭まるとそれらの境界層が重なり合い気団通過が妨げられる。穏やかな拡散の流れは残る。かくて、流れのふるい分け(スクリーニング)が生じる。

火炎上に孔径の小さい金網をかざすと、火炎はあたかも孔がないかのように網目を通り抜けないで金網の下面に沿って横に広がる。火炎の連鎖反応に必要な熱とラジカルを網の金属が奪うプロセスも網目内での燃焼の自続を妨げる。網目や細隙のある構造体で着火可能源を囲い込めば防爆できる。

自動車等の内燃機関の点火プラグにおいて、対向する電極面の径が放電ギャップよりも大きいとき、電極間に発生した火種は電極間の隙間から外に広がってトーチにまで成長するのが難しい。近年は細い電極が使われるようになり、燃料が希薄な混合気にもミスファイヤせず希薄燃焼・低公害エンジンが可能になった。

熱陰極真空管・エレクトロニクス

今日の微細なシリコンデバイスの感覚からすると、熱陰極真空管は荒っぽい感じがする。しかし、エレクトロニクスの各種の機能・要素的電子回路は、真空管時代に形成され、種々の精密計測・微小信号の処理を可能にしていた。なぜなのか? 自問自答したことであった。

真空管回路を作動させる2種の電源のうち、直流 B 電源(陽極電流用)には定電圧源を用いても A 電源(陰

極のヒーター電流用)にはトランスで降圧しただけの6.3V交流を用いることが多い。陰極温度がリップルしても構わないのか? 気になったことがあった。

真空管の制御格子(コントロールグリッド)の負電荷は、空間電荷と類似の働きをして陰極近くの電場を変えて陽極電流を制御している。つまり、陰極温度に依存しない空間電荷制限電流(ラングミュアの式)をつくって陽極電流を制御しているのである。一件落着ではあった。

さて、3極管の陽極・制御グリッド間の静電容量 C_{pg} は数pFもあるので、陽極電位の変化がグリッド電位 V_g を変える。第2格子としての遮蔽格子(screen grid)は、陽極と制御グリッド間を静電的に遮蔽し、3極管にくらべて C_{pg} を2~3桁減らす。遮蔽格子は一定の正電圧 V_{sg} で電子を加速し陽極に届ける。そのため、陽極電圧 V_p が増して V_{sg} を越すあたりから陽極電流 I_p は飽和するから、内部抵抗 $r_p=(\partial V_p/\partial I_p)V_g$ が著しく大きい。そのため増幅率 $\mu=g_m r_p$ は大きく、グリッド電圧・陽極電流曲線(グリッド特性)は V_p に殆ど依存しない。相互コンダクタンス g_m はほとんど変わらない。

第3格子としての抑制格子(suppressor grid)は陰極電位に等しく、陽極から出る2次電子が遮蔽格子に入ることを抑制し、 V_p が下がったときにも遮蔽格子が目的通りに機能することを助ける。結局、遮蔽格子と抑制格子は、蚊屋・網戸・カーテン等に似た機能をもつ。

バイポーラトランジスタでは、コレクター電流 I_C はベース・コレクター電圧 V_{CB} とともに増した後飽和する(コレクター遮断電流)。この領域ではエミッター電流 I_E と I_C の関係は V_{CB} に依存せず、安定な電流増幅率を与える。

ユニポーラ電界効果トランジスタ(FET)で、ドレイン電流 I_D はドレイン・ソース間電圧 V_{DS} に比例して増した後飽和する。これは空間電荷によるチャネルのピンチオフによる。この飽和領域では、ゲート・ソース間電圧 V_{GS} と I_D の関係曲線(ゲート特性)は V_{DS} に殆ど依存しない。これは5極真空管のグリッド特性に似る。

真空管もトランジスタも非線形性を利用して飽和電流状態を実現して、グリッド、ベースまたはゲートの入力信号を安定に増幅し線形応答する仕掛けになっている。

CCT ガスセンサを蚊屋に入れる

CCT ガスセンサにおいては、触媒燃焼の熱変換効率が拡散律速温度領域で飽和することを活用して、物質輸送抵抗と熱抵抗が気流速に依存しない機構が可能である。熱陰極前面の空間電荷と対流中の触媒球外周の粘性境界層はともに“自然発生”する。触媒球に、真空管の格子に相当するスクリーンを“人工的”に与えるのである。非線形を制御してCCTガスセンシングの線形応答を実現する。

1950年代後半、当時稀少な鉄筋コンクリート公営住宅に入居できたが、最上階(4階)であった。現在と違って断熱材など使われていないので、焼け石の中をくり抜いて住んでいるような夏の暑さであった。蚊は4階まで上がってくるから窓をあけて蚊屋を吊って寝た。1961年、辛抱たまらなくなつて初期の窓付け冷房機を購入した。蚊屋の吊りはずしの面倒からも解放された。

翌朝、事件は起きた。腹痛はないが派手な下痢である。クーラーの風が腹を冷やしたのである。2日目の夜以降は再び蚊屋を吊って寝た。効果顕面であった。冷風は蚊屋と天井の間の空間を通過して壁に沿って降下し蚊屋の周囲を通過して循環する。網目を通過して蚊屋の中に入るのは冷気である。

扇や扇風機の風は皮膚表面の粘性境界層を薄くして発汗水蒸気の拡散速度を高める。コーヒーに砂糖を入れたらかき回して溶解を速める。ティーバッグは取り扱い簡便だが茶の滲出に時間がかかる。熱い湯に入浴するときには、できるだけ緩慢に出入りして粘性境界層を厚く保ち熱伝導を緩和する。

発泡プラスチック泡の中の気体は粘性のため対流できないので断熱性が高い。襪やペアガラスは内部の隙間が薄い方が断熱性が高い。しかし、熱の流れがないわけではない。分子のブラウン運動による物質の流れ(拡散)、エネルギーの流れ(熱伝導)および運動量の流れ(粘性)はいずれも対流に比べると著しく遅いけれども、流れは存在する。対流による輸送とブラウン運動による輸送をふるい分ける物理過程は日常生活の智慧として活かされている。

CCTガスセンサ球を金網等の多孔体で取り囲む防爆構造の場合²⁾には外気の対流が遮断される。しかし、センサ球の熱は上昇気流を生じる(自然対流ともよばれる)。一方、密閉容器にあけた細隙を通してポンプで強制対流させる防爆構造の場合³⁾には、センサ球は対流

雑学講座

に曝される。

いずれの場合にせよ、CCT ガスセンサ球を多孔体で取り囲むことを考える。センサ球と多孔性蓋被との間隔を狭くすると、その隙間が粘性境界層で埋められる。この境界層の厚さと孔の行路長は蓋被の外の気流速によらず一定である。同時に、拡散と熱伝導の行路は長くなるので物質輸送抵抗 Z と熱輸送抵抗 R が増す。 Z の増加は拡散速度を減し、触媒燃焼の発熱速度を減す。かくて、ブリッジ出力は減るか拡散律速温度域は低温側へ広がる。

さらに、センサ球で温められた空気の上昇流れも抑制

されるから、鉛直からのセンサの傾きによる特性変化が抑制される。

これらの総合効果がガスセンシングの線形応答をもたらす事実を次稿で述べる。

[参考文献]

- 1) 光藤裕之 “マテリアルズ インテグレーション” Vol.15, No.3 (T.I.C. 2002) p.114~118.
- 2) 光藤裕之 “マテリアルズ インテグレーション” Vol.15, No.5 (T.I.C. 2002) p.76~81 の図 2.
- 3) 同上の図 1.