

知ってますか??



雑学講座

「焦電赤外線センサにまつわるミステリー」

作・光藤 裕之 岡山理科大学 理学部応用物理学科 教授

〒700-0005 岡山市理大町1番1号 TEL/086-252-3161 FAX/086-255-7700

《科学ミステリー》

焦電現象を使った赤外線センサの技術は著しく向上し 様々の応用製品が提供されている 最近 は 耳穴体温計や室温動作の赤外線カメラまで開発されている 25 の物体の発するプランク放射分布は $10\mu\text{m}$ 附近にピークをもつ幅広い曲線で表される この曲線は人体温度に対してもわずかしき変わらない 自動ドア用センサの向いにある建物の一部が絶えず発している赤外線から人体赤外線を識別する能力にドアを通る度に敬服するのである 建物と人体間の温度差が減る真夏にも誤動作しないことにも感服する 多分 光チョッピング過程と同期した信号処理が人間の動きを判断することも可能であろう。

人体および衣服の繊維の赤外線放射率が高いことも 人体識別能を上げる別の要因になっていると思われる そこで第一のミステリーが生じる つまりエンセラの謎である 遠赤外線放射セラミックスとされている物体は、高い常温放射率をもつ つまりプランクの黒体放射に近い放射曲線をもつものが多い “エンセラを身にまとうと健康に有益である” という俗説に合点が行かない 高放射率の人体が高放射率の衣服をすでにまもっているからである プランク放射の理論は 熱平衡におけるエネルギー保存則に従う 俗説の言う効果に否定しきれないものがあるので 私の困惑は解決されない ほどである。

《協力が生む自発分極秩序の強さ》

結晶内の双極子群が協力して同じ向きをとり自発分極 P_s が生じる モーメント p の双極子が単位体積中に N 個あるとき 全電気分極は $P_s = Np$ であり この分極による誘電体の表面電荷密度は $\sigma_p = P_n$ である P_n は P_s の法線

成分である 分極軸に直交する面では各単位格子を同一電荷が埋めているわけだから、 σ_p は極めて大きい この電荷は 外部空間にも誘電体内部にも電場を作る。

熱擾乱が双極子の協力関係を邪魔するので 温度 T が上がるに従って $P_s(T)$ は減少する 自発分極が消滅する相転移温度(キュリー点)附近では $P_s(T)$ の減少は急峻になり過ぎて センサには使い難い 図1は代表的な強誘電体 BaTiO_3 単結晶の $P_s(T)$ 曲線¹⁾を示す 室温附近の焦電率 $-dP_s/dT = 5.5 \times 10^{-4} (\text{C}/\text{m}^2\text{K})$, c 軸方向の誘電率 $\epsilon_c = 168$ および真空の誘電率 $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} (\text{C}/\text{Vm})$ を用いると 1 の温度上昇により平板試料にかかる電場の変化は $E = \sigma_p / \epsilon_0 \epsilon_c = 3.7 \times 10^5 (\text{V}/\text{mK})$ になる。つまり $0.1(\text{mm})$ 厚さの平板が 0.01 だけ温度上昇した直後に発生する電圧は $0.37(\text{V})$ と計算される。図1の曲線の傾きは緩やかであるけれども、自発分極がつくる σ_p が絶大な

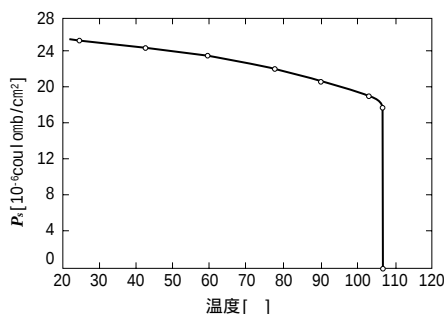


図1

なので その変化率がわずかでも 極めて大きな内部電場変化 E が発生する この特徴を生かす分野は かなり広いのではなからうか。

《科学ミステリー》

焦電赤外線センサの動作メカニズムは、概ね次のように解説されている 巨大な面電荷 $\pm \sigma_p$ は 極めて強い電場をつくるので 平

衡状態ではそれぞれ大気中の負と正のイオンを吸着して中和されている 温度上昇が緩やかで 時々刻々熱平衡が保たれる準静的過程では 吸着平衡により面電荷はゼロである いま 急速に温度上昇させると 分極だけ急減しイオン面密度の減少が遅れる過渡的非平衡が生じる このとき 過剰イオンによる電位差が相対する面の間に発生するこれが焦電効果とされている。

チョッパーで一定間隔・一定速度で断続させられた方形に近い赤外光パルスが焦電体に吸収され光熱変換されると 光の強さにほぼ比例した振幅の焦電効果パルスが得られる 光パルスと次の光パルスの間隔にはイオンの吸着平衡が回復する時間が必要である 焦電体の両面に電極 入射面には光熱変換効率を上げるための黒化膜が付けられる 信号増幅のためのFETともども赤外光透過窓材付きの微小な密閉容器に入れられてセンサが完成する。

ここで第二のミステリーに遭遇する。電極 黒化膜 密閉容器に遮られ イオンはどの道通って 焦電体表面と大気との間を往復するのだろうか センサ開発当事者の解説書も殆ど全ての教科書も 大気中イオンによる中和説に従っている しかし 謎を不問に付したままでもセンサ技術は著しく向上している。

《懷疑心・好奇心 / 論証と実証》

私が駆け出しの頃 新しく出版された固体物理の書物(訳書)は “キッテル固体物理学入門” (1958)²⁾と “デッカー固体物理” (1958)³⁾であった 後者で大気中イオンによる中和の説に接したとき 私は意表を突かれた思いを禁じ得なかった その第一:考えを固体の内部だけに限定することなく 平衡に

ある外界を含めた系全体を視野に入れる発想を当時新鮮に感じたのであった。その第二: それにしても少々話が旨すぎはしないのか、大気から遮断した実験でチェックしたら果たしてどうなるのだろうか?

キッテル(初版本)は次のようである! 結晶外への分極の作用は結晶の表面に空気中から自由電荷が集積することや結晶内の電気伝導のためにだんだんに中和されてくる」ここでは結晶内電気伝導という第2のプロセスが言及されている私の懐疑心は一部緩和することとなった。

その後「ランダウ/リフシッツ電磁気学」(1962)⁴⁾中の次のような記述に出会って安堵したのであった(1)自発分極した誘電体中にはゼロでない電場がある(2)実在試料は小さいがゼロではない電導度をもつ(3)試料中に電荷が移動し表面に達する(4)この電流は試料中の電場が打ち消されるまで流れる(5)空気中から試料の表面上に沈着するイオンもやはりこの働きをする。

それから20数年後に登場した赤外線センサは密封容器で大気から遮断した実験を実行してランダウ説の実証を与えてくれたのであった。ランダウ説では大気中イオンによる中和は「従」であって必須ではないのである。

《「科学と技術は別概念である」ことの実例》

上述のミステリーは科学ミステリーであって、技術上のものではない。技術者は着実に実験上の試行錯誤を重ねて先端技術商品を開発したのであり科学上の自己不整合(自家撞着)は解説書を書く段階で副次的に起こったに過ぎない。つまり開発過程では大気中イオンのことは眼中になかったに違いない。技術ミステリーはなかったのである。

科学は知的好奇心や物事の本質を極めたいという哲学心から発した営みであり自然科学だけに限るわけでもない。一方人間存在に好都合であるように事物を改変しようとするのが技術と言える。従って科学と技術とはそれぞれ独自の異なった観点と方法論が生まれて当然である。

科学法則に反する技術は存立しないけれども科学法則が知られていなくとも経験事

実の知識に基づく技術は存在する。しかし、画期的で巨大な技術革新は科学の進歩がもたらす。また技術が可能にした実験・観察が、科学上の概念の実証や新概念の誕生を助ける。科学法則が意識的に応用展開されるとき技術開発上の紆余曲折は減るであろう。今日これらの実例は枚挙に暇がないほどに豊富である。以上のような考えは朝永振一郎先生⁵⁾をはじめ多くの方々が述べておられる。

《科学不在で起こり易い技術ミステリー》

さて「科学寄り」の前節の議論は技術発展の紆余曲折を減じ得るだろうか。現実にはメーカーごとに品質に優劣差がある。開発技術者はそれぞれに意識的に無意識にか誘電体内電気伝導率の大きさと温度依存性を制御し管理しているに違いない。電気伝導率の温度依存性は一般に電導荷電体がイオンのとき大きく電子・正孔のときには小さくできる。

強誘電分極のヒステリシス特性はbinary digitデバイスに利用できる。強誘電性液晶は単純マトリックス方式で高速スイッチできる画像表示装置に使えるように見える。しかし、ON-OFFの度ごとに前述した巨大な表面密度の電荷を出し入れしなければならない。果たして技術的な紆余曲折の努力が報われるであろうか?

科学不在が紆余曲折を余儀無くさせる程度に留まらない実例に触れざるを得ない。1999年9月30日ウラン処理工場で起こった核分裂の臨界事故は技術ミステリーに属する。生産効率を上げる技術上の工夫つまり技術に固有の論理が事故を発生させた。核分裂を自続させる連鎖反応が起きる臨界の知識は科学に属し日常の技術業務の埒外にあった。核燃料取扱い主任者の国家試験に合格し得る科学知識とともにそれをメモリから呼び出す心の働きつまり動的機能が大切である。後者のレベルが低いとバカチョン防止のマニュアルや設備の整備そのものが実現され得ない。

技術と科学が相互に自己主張し合いながら協力することが慣習として定着し文化になることが切望される。そのためにはまず

科学と技術がそれぞれ独立の別概念であることの認識が必要なのかも知れない。

《多くの教科書は“科学書”である》

1984年当時の卒業研究生が科学ミステリーの背景を調べてくれた専門雑誌の論文・記事は除いて(膨大になり過ぎる)教科書的な単行本・辞典・啓蒙書を図書館で調べたのである。これらは製造技術やノウハウではなく、概念や理論を主とする“科学書”である。デッカー型13冊、キッテル型(並記型)3冊、ランダウ型1冊、その他型1冊であった。

その他型は論外なモデルなので内容には触れない。むしろ大気中のイオンによる中和が単独で作用する説が多数を占めた背景に興味を湧く。その背景は焦=こがす、pyro=火(ギリシャ語)の文字が使われたことと関係するようである。1756年F.U.T. Aepinusは電気石を炎の中に入れたとき表面に電荷が現れることを発見した⁶⁾。これが焦電気(pyro-electricity)の始まりとされる。炎は弱プラズマであり加熱と中和の両機能をもつ。炎を使った実験をくり返しているうちにイオン中和のモデルに行き着いたと想像される。それ以降イオン中和モデルに“不都合が起こらなかった”ので多くの教科書において伝統のモデルが踏襲されたのである。しかし内部導電モデルを論証的に指摘した“科学”もあった。

【引用文献】

- 1) 飯田, 大野, 神前, 熊谷, 沢田編, “新版 物理定数表”(朝倉書店, 1969)。
- 2) C. Kittel 著, 宇野, 津屋, 森田, 山下訳, “固体物理学入門”(丸善, 1958)。
- 3) A. J. Dekker 著, 橋口, 神山訳, “固体物理”(コロナ社, 1958)。
- 4) ランダウ, リフシッツ著, 井上, 安河内, 佐々木訳, “電磁気学=連続媒質の電気力学”(東京図書1962)。
- 5) 朝永振一郎著, “物理学とは何だろうか”(岩波新書, 1979)。
- 6) 久保, 長倉, 井口, 江沢編, “理化学辞典第3版”(岩波書店, 1971)。