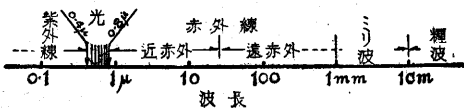


赤外線 (Infra-red) とは御承知のとおり、熱線として知られる近赤外線 (波長  $0.8 \sim 2.5 \mu$ ,  $\mu$  ミクロンは  $10^{-4} \text{cm}$ ) と、それよりさらに長波長の遠赤外線 (波長  $2.5 \sim \text{約 } 400 \mu$ ) とに区分される電磁輻射で、そのさきは未踏のギャップをわずかにへだてて、ミリ波、糞波、短波へと連絡をする (第1圖) 現在使用されるのは、主として  $15 \mu$  までの近赤外部であるが、この輻射と工業とのつながりは次の3つとなる。

1. 赤外線乾燥 赤外ランプの利用
2. 熱線温度計 熱線検出技術の進歩
3. 赤外吸収による迅速分析 赤外分光分析の発達



第1圖 赤外線の領域と区分

これらはいずれも、操作の簡易化、時間の経済上の卓効から、アメリカでは戦時來急激な發展を見ているもので、1 は乾燥のすべての分野に應用され、コストを 70% に、所要時間を 5% (即ち 20 分の 1 にまで短縮した。また 3 は 1940 年 はじめて工業に採用されて以來、わずか 10 年で大規模に石油工業、ハイドロカーボン、合成工業において、作業の調整に、分析の簡易化、迅速化に活用されているのである。

わが國でもそれらに必要な熱線測定技術は、終戦當時世最高の水準まで一應は到達していたのであるから、その成果を轉じてこの分野へ活用をはかつたなら、その進歩みるべきものがあるであろう。幸に 3 項への關心が最近いたるところで高まり、積極的な動きがみられるのは喜しいことである。

昨今までは遙にも藪にもならぬもののように研究室に預け放しになつていた赤外線分野が、この十年來一部工業の手にとり上げられ、目ざましい進出ぶりを示している。赤外線乾燥、熱線測温、赤外線ガス分析等 Infra-red の名のつく技術が、化學工業と密接な関連をもつてよく眼にふれる。ごく常識的ながら赤外分光分析學への一進の意味でそれらの概説をする。

### 熱線乾燥

東京の街々には色とりどりに目ざめるばかりのレジン塗裝の新型モデルが溢れている。それにくらべ Made in Japan の色調のすべてが、なさけなくも何かと物足りぬことか! どこにあの

光澤と強靱さが生ずるのであろう。しかし種をあかせば、ごく簡単で、塗料の品質は論外として、あの美麗しうしやなボデーの艶は、實は赤外ランプの使用によつてはじめて得られるもので、しかもレジンの塗布から外裝完成まで、わずか 30 分足らずの早業と聞いては、さすがに驚かされる。

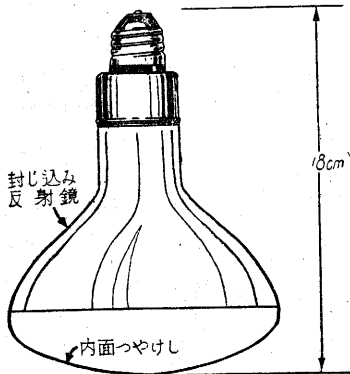
従來の Air drying にかえて Infra-red oven (赤外灯爐) を最初に採用したのはフォード社である。現在では見出し (カット) のように、ボデーは全長 32 呎の赤外灯のトンネルを通過するたつた 3 分のうちに、800 個の 250 ワット。ランプから熱線を浴びて、合成樹脂塗料はただちに一樣に乾因するのである。

Jeep の外裝も同様 500 個のランプのトンネルを抜ける 4 分間に 1 回の塗裝が終る。この方法が熱風乾燥、蒸氣乾燥と本質的に異なることは熱線をうけた塗料は内部より加熱され、下層から乾因して皺を生ずるおそれのないことと、最近流行のラジオ・ヒーター (高周波乾燥) と同一原理による高熱の内部發生と浸透とにより、レジンの重合を短時間に促進し、衝撃を與えても下地と金輪際離れぬという強い被膜ができて上ることである。

これに使用する赤外灯 (第2圖) は、タングステン・ランプ (100~1,000 ワット) で、内面は金メッキ反射鏡となつている。高温物體表面から輻射されるエネルギーの波長分布は第4圖のようになるので、ヒーターとしてのこのランプのフィラメント温度は比較的低温 ( $2,200^{\circ}\text{C}$  以下)、自然壽命は 5,000 時間以上もある。金メッキの理由は、金が赤外部では最も反射率が高く、また酸化をう

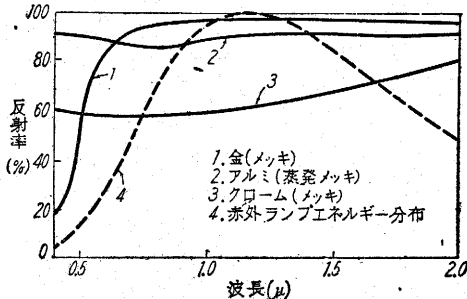
けぬからにすぎない(第3圖)。またアルミ・メッキのものもある。

それに塗料はすべて白黒の色彩には関係なく赤外域で



第2圖 赤外ランプ—マイクロ波の發振器—  
これは250ワット投熱用として、内面は金メッキの反射鏡となつている。

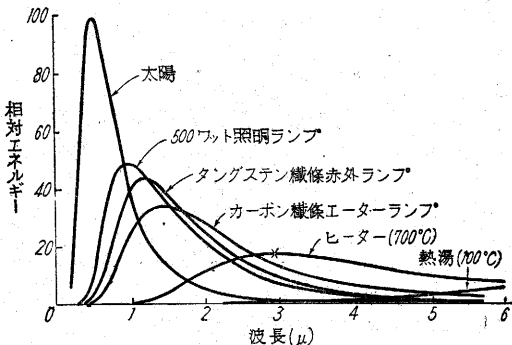
◇電球は熱源に、照明は蛍光ランプで◇



第3圖 二三の面の赤外反射率

は黒體となり(第6圖)、熱線の吸収は至つて良好で、(輻射率  $\epsilon=0.9$ )、熱工エネルギーが光速で直接に傳達され、このような熱線加熱形式の相手役には最適のものである。こうして赤外乾燥法は蒸氣加熱、熱風乾燥を驅逐し、間接加熱法は舊時代のものとなつた。

塗装以外にもこれは廣い應用領域をもつている。赤外爐 (Infra-red oven) といへば大掛りな装置を想わせるが、實はさにあらず、競技場の夜間照明塔を小型にして



第4圖 黒體表面の輻射エネルギー分布暖房用の電熱ヒーターの赤熱した表面からは2~5μの波長の輻射から強く出ることがわかる。

×印はその強度最大の位置。

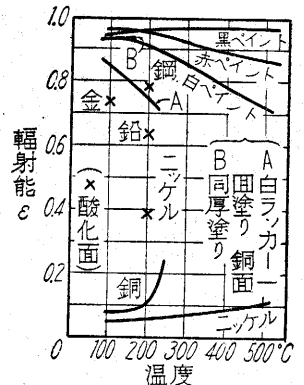
赤外ランプをつけたものと考えていただければよく、設備簡易、移動自由、作業清潔で、補修監視調節が容易、洗れ作業に好適など、あらゆる點で有利といわれる。絶縁塗装面、鑄物砂型、陶磁器塑材などの乾燥から、製紙・纖維加工、染料工業製品の乾燥、食品(穀粒、魚類)の迅速處理、その他暖房、醫療、飼育、にいたるまで、廣く利用され、場所と時間と経費との節約を最大に計ることが出来る。

電力事情も追々明るくなつてきたが、寡開にして本邦の電球工業が廣く工業用赤外ランプの生産を始めたことを聞かない。東芝のものが再び現れ出したくらいであろう。しかし大いにその必要を感じている、否感じなければならぬ方面が各所にあるのではなからうか。

### 映画と赤外線

シネロケを赤外撮影でやつて見たらというような古い話題ではない。赤外寫眞についての最近の進歩もあろうが、これはトーキーの再生方式に赤外線が利用されはじめたいというニュースである。

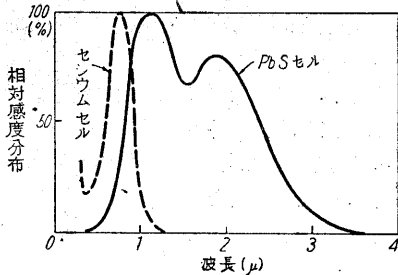
従來の光電管を用いる再生システムにはもはや改良の餘地はないように見える。しかしよく考えてみれば、セルに對應する光源エクサイターは、1μ以下の可視光を強力に發するよう、 $\approx 3000^{\circ}\text{C}$  近くに加熱されたタングステン・フィラメントで、セシウム電管に必要なネットエネルギーの何10倍にも相當する無駄な熱を發し、壽命は短く、装置は大型となり、矛盾と不合理のよい見本であつた。もしフォト、セルの感度が—現在は1μを超えていない—そのまま5μまくらいまで延長されたら、第2圖からお判りの通り、利用されるエネルギーは數十倍に増し、サウンドヘッドの設計はきわめて容易となる。



第5圖 面の輻射能磨かれた金屬表面は熱線の發散率が低い、これに反して塗装された面は異體輻射( $\epsilon=1$ )に近い輻射を示す。

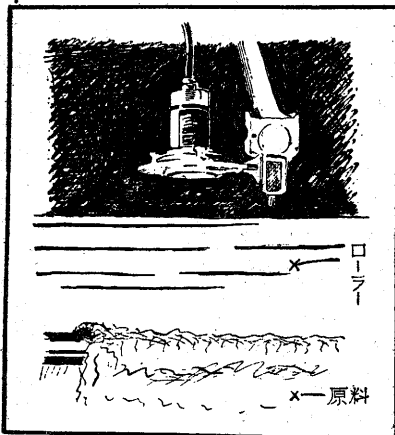
ところで今春來、アメリカ映畫工業誌、その他に、後述第2表の PbS 光電セル・システムのトーキーへの應用が發表され、數種の 16m/m 小型トーキーに従來の10分の1しかスペースを取らぬサウンド・ヘッドが取付けられつつあるという。では、ニクロム・ヒーターと感光面積わずか 0.1cm<sup>2</sup> という PbS 光傳導セルを組合わせた新型システムとは一體どんなものか。一寸紹介してみる。

Photo-conductive cell (光伝導セル) と稱するのは一種の可變抵抗で、輻射の入射によつて電気伝導の變化する高抵抗、いわばフォトバリスタである。PbSセルは硫化鉛を主體として薄膜感光面を作り、酸化處理をして電極を付けたものをいい、元祖はドイツ、大戦の副産物の一つで、秘密通信用に完成されたものである。



第6圖 硫化鉛 (PbS) 光伝導セルの感度分布

性能の①感度曲線は第9圖に示すように、1~2μに極大をもち、限界は3~4μに到る。最大感度は10<sup>-12</sup>ワットに及び、他の赤外検出器の感度に比べ100~1,000倍である。光電管と比較しても、絶対感度では劣るが、光源の輻射エネルギー分布と組合せて考えれば、同等或は以上の総合感度をもっている。これがニクロム線の

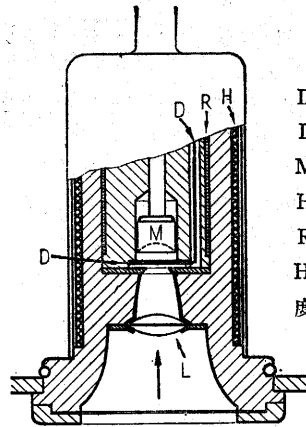


第7圖 熱線温度計 (中央上) はプラスチックのミールング工程に於てローラー温度のコントロールに使用され。

光源で充分な理由である。

②周波数特性は可聴域で完全に平坦、10kc で -5db というのができている。しかし低周波で雑音大がきく、まだマイクロフォニックとならぬ點、また光學系を赤外用として眞價が發揮される點、普及には時日を要するようであるが、奇妙な特徴とし③感光面が小さく (0.1~1cm<sup>2</sup>) 且つ狭い程高感度なため小型化が可能という。

そこで真空管→トランジスターへの小型化の向うを行つて、光電管に挑戦するものといったところ、將來このセルの特殊方面への進出が豫想される。たしが



- D 熱電対ディラクター
- L 螢石レンズ
- M 反射鏡
- H 容器加熱コイル
- R 抵抗温度計コイル
- H-R を組合せ容器の温度を一定に保つおく

第8圖 熱線温度計の内部構造

熱線は下からLを通してD熱電堆上に集められ、その温度を上昇し熱起電力として測定される。

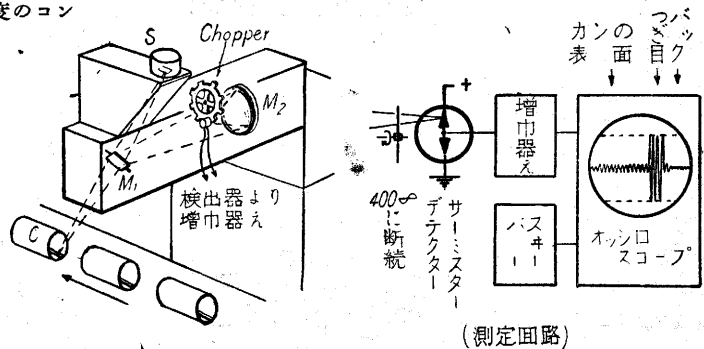
に、ゲルマニウムならぬ硫化鉛の資源的有利さは小型トーカーのコストを10% 低落させることは間違いなく、映畫文化へ一貢獻するものと期待される。

PbS (ガレナ) の光電現象の歴史は古いの、どうしてその利用法の発見がおくられて、今まで取残されていたか、不思議な気がする。赤外線に対する関心が薄かつたこと、それに従来はセレンセル、にしろタロファイド (Tl<sub>2</sub>S) セルにしろ、光伝導セルは不安定で、おくれがあり、特性が悪いものだとして顧みられなかつたことが禍した。しかし PbS セルは、その悪評を一掃しつつある。

筆者の研究室でも興味をもつて、早速試作したところ簡単にできることを知つた。100 ワット電球の光より、煙草の火口によく感ずるとは面白い光電管である。作り方に興味ある方は本紙第3號 (24年12月號) 所載の速報を参照されたい。

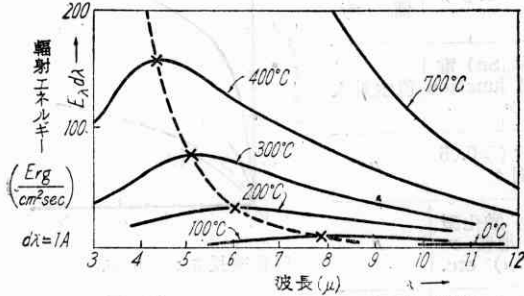
### 熱線温度計

大戦中、交戦國はいずれも暗通信と熱線標定の必要から、赤外線検出の研究に大奮となつていた。わが國でも



C: カンのつぎ目 S: 標準温度の錫の表面 M<sub>1</sub>: 切換用平面鏡 M<sub>2</sub>: 抛物面鏡  
第9圖 毎秒6個の速さで通過するカンのつぎ目の温度がオシロスコープで讀取られる

御多聞に漏れず、戦争末期には「B-29 標定」「ロケット空雷の自動制御」などを目標に、最大の戦時研究組織を結成し、2年の歳月と数千の研究員を動員して、ぎりぎりの成果を擧げて空襲におびえた國民に唯一の希望をつながせていた。こうして赤外線測定技術は急速に完成され結果の一部は最近照明工学大観（照明學會刊）に公表された。



第10圖 表面温度が100°Cになる輻射の強度の最大は6μに生ずる。全輻射エネルギーの75%はその右側に分布するから低温度測定には少なくとも10μまでの熱線を利用せねばならない。

近時では100°C以下の常温に近い物體よりの熱輻射でも容易に定量されるようになり、従来の光高温計では700°C以下の測定ができないところを、それと同一原理で100~1,000°Cの物體の遠隔測温が可能となつて、現場に利用されるに至つたのである。

**應用例** 第7圖は、熱電對ガルバ系を採用した温度計の一例で、第8圖に内部構造を示した。輻射は螢石CaFレンズにより10對型の電對受光面上に入射し、5~10μV/°Cの感度を有し100~200°Cの測定ができる。

第9圖はサーミスター・エレメントを用いる一例で出力はオッシロ・スコープで読み、200~400°Cを±3°Cの精度で與えるという。圖は流れ作業中のカンのハンダづけの温度を比較測定をしつつ監視しているところである。

さて、測定の實際においては、いろいろと注意すべき点がある①は物體面の輻射能εが一定しないこと、②は温度の影響である。①は塗料を厚く塗つてεを一定にするか(第7圖)、比較檢定法で解決する。②は水分子の強い吸収帯が1.4μ、1.9μに始まり多數存在するため、濕氣中では見かけ温度が低下する効果である。が常温1mにつき10~20%マイナスの程度で致命的ではない。最大の問題は何といつても檢出器の使い方であつてこれを次に述べよう。



↑ 文部省輸入科學器械の第一陣としてアメリカより去る10月到着し、一般の利用をまつている分光分析器(東大・綜合試験所保管)

← ガス分析器

第11圖 赤外分析器(Baird Associates)

**低温輻射とその檢出器** 低温の黒體表面の輻射エネルギー分布は第10圖のようにその極大 $E_m$ に對する波長 $\lambda_m$ は700°Cの表面では3μ、200°Cでは6μとなつている。 $\lambda_m$ の短波長側には全輻射エネルギーの25%が含まれるに過ぎぬから、例えば200°Cの測温では6μをこえて10μくらいまでの熱線を有効に利用しなければならない。また $E_m$ は $\lambda_m$ の5乗に逆比例して減ずるから、檢出器はきわめて敏感でなければならぬ。それで1~10μで働く高感度エレメントの製作とその波長域で透明な物質——窓・レンズ——の入手が、この研究の主對象となる。表はその參考となる一覽表で、それらの適宜な組合わせから、いろいろな型式ができる。

第1表 赤外透過材料一覽

材 質	使用波長域(μ)	透過度(%)	限界波長(μ)	吸収帯・その他
ガラス(鉛ガラス)	0.3 ~ 1 (3)	90	2 (5)	
バイレックス (1.5mm)	0.35 ~ 2.5	90	4	
石英 SiO <sub>2</sub>	0.2 ~ 3.5	90	4.4	2.95μ
雲母 (透明 0.1mm)	0.3 ~ 8	80	9	5.3μ
弗化リチウム LiF	0.1 ~ 7	80	8	
螢石 CaF	0.2 ~ 8.5	90	12	
岩鹽 NaCl	0.2 ~ 12	95	16(21)	潮解性
シルピン* AgCl	0.3 ~ 20	80	28	3.2, 7.1μ
臭化カリ* KBr	0.2 ~ 22	90	30	潮解性
KRS-5* Tl (Br+I)	2 ~ 30	70	70	CasI, Zeiss Jena
セルローズ・フィルム(1μ)	(全 域)	>90	—	防濕用**
パウダー・フィルター MgO	約 5d~12(d=粒子直径)		—	可視側除去用

\* 遠赤外用：結晶入手難

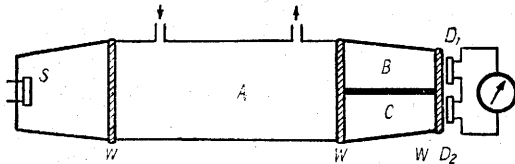
\*\* ポリスチレン、ポリエチレン等

プラスチックゴムなどの熱加工操作では表面の温度分布の監視に、またセメント、ガラス、窯業方面にも容易な型式で應用される。とにかく問題の主要部は戦争のおかげで研究済みであるから、いますぐにも活用が期待される。

第2表 主な赤外検出器 Infra-red Detectors

検出系	標準感度 (等雑音入力): $\mu$ watt	時常数 sec	デラクター・エレメント	備考
i) 熱電対・ガルバ (サーモリレー) (光電増幅)	$\sim 10^{-5}$	$< 10^{-2}$	Bi-(Bi+5%Sn) 電対 etc. 多重 junction 受光面煤付ケ	真空封入
ii) メタルボロメーター (交流増幅)	$\sim 10^{-5}$	$> 10^{-3}$	Ni フレック ( $> 0.05 \mu$ ) etc. 煤付ケ	"
iii) サーミスター・ボロメーター ( " )	$\sim 10^{-5}$	$> 10^{-3}$	NiO (主體) 酸化型 (n-type) 半導體 フレック ( $> 10 \mu$ )* etc.	"
iiii) 硫化鉛光傳導セル ( " )	$= 10^{-6}$	$> 10^{-5}$	(PbS+PtO) 薄膜蒸着・酸素處理 (使用域: $1 \sim 3 \mu$ )	"

\* 電気抵抗 $\sim 1M\Omega$  温度係数 $\sim 0.05$



第12圖 赤外ガス分析器  
S: 光源 A: 試料室 W: L:F マフ  
B, C: ガス・フィルター室 D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> 検出器

簡易ガス分析

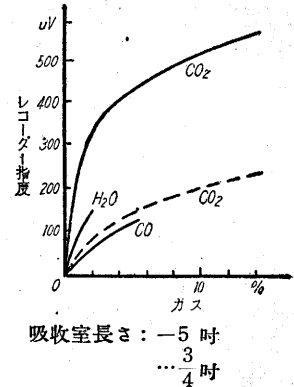
氣體は肉眼には無色透明なものが多いのであるが、赤外部に立入つて調べると、それぞれ特殊の波長域できわめて強い吸収を示し、いわば濃厚な〈色〉をもっているそこで上述の進歩した熱線測定技術を用いて、その〈色〉の濃さ即ち吸収率を測り、ガスの定量が簡易にできるようになつた。

ガス分析、ガスコントロールは一般工場の熱管理をはじめ、肥料その他基礎化学工業に缺くべからざるもので従來その目的で連続測定のできる物理的方法として、熱傳導、音速、磁性分析や干涉、マス・スペクトルによる方法などいろいろ研究されているが、この赤外線による方法は特殊ガスに対して高感度が得られ、分光分析と異なり高價な部品を要せず、相手が CO, CO<sub>2</sub> など簡単な成分既知のガスであるときはきわめて有効で、立派な既成品が提供されている現状である。(第11圖)

これも今次大戦のこと、ドイツは戦線で使用する毒ガス検出器として、便利に使用できるものを作つたが、寫

眞左は戦後アメリカでの改良型である。機構は第13圖で御覽の如くはなはだ simple ながら、性能は第3表の如く良好である。

第12圖を CO 検出の場合に例をとつて説明すれば A は試料室で CO を含む未知ガスを通ずるか收容する。



第13圖 分析器の特性  
S は 450°C の熱源で、輻射は一部 S を出て A 室及び CO<sub>2</sub> 100%  
第3表

氣體	測定範圍(%)	感度(%)	備考
CO	0~1	0.005	
CO <sub>2</sub>	0~0.01	0.002	水蒸氣 2% 中
	0~10	0.1	ガソリン排氣
HCN	0~1.5	0.03	水蒸氣, CO <sub>2</sub> 2% 中
H <sub>2</sub> O	0~3	0.01	

の B 室を通り完全な吸収を受けて後、検出器 D<sub>1</sub> に至る。また他の一部は CO を含まぬガス (例えば純粹の酸素) を入れた C 室を通過し、A 室の試料中の CO の吸収のみをうけて検出器 D<sub>2</sub> に到達する。D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> は差動的に指示器を働作するから、フレが CO% の尺度となる(第13圖)。

この形式の分析器は組立にほとんど特殊材料を用いない。ただ使用波長域で高感度をもち、時常数(おくれ)の小さい検出系があればよい。ただし赤外用の窓が 2, 3 必要であるが、第1表からそれには LiF, 螢石, 良質の雲母で充分なことがわかる。

寫眞右は最近輸入された赤外分光分析機である。赤外分光分析は有機化学工業に不可欠の技術となつて來たが装置がやや複雑となるので充分な研究はまだ本邦では行われていない。くわしい説明の紙面がないので前者の紹介にとゞめ赤外分析への手びきのみとした。(1949・8・30)

文献: [日比谷, C. I. E. 圖書館より]

- (1) Hall, Industrial Application of Infra-red(1947) [赤外乾燥]
- (2) Barnes, Anal. Chem. (Jan. 1949)... [赤外分析]