

科学計測装置について

牧野 勇 夫*

Scientific Measuring Instruments

By Takeo Makino
Taga Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

This article deals first with the construction, performance, and applications of the electron microscope, mass spectrometer X-ray diffraction device, photoelectric photometer, radioactivity tester, etc. The writer then discusses these scientific measuring instruments in the wake of their recent development and attempted analysis of their physical function.

〔I〕 緒 言

一般に科学計測装置といつてもまだ普遍的な概念になつていないが、ここではルーティンワークに使用される一般計測装置のように、整つた形式にまで達する以前の段階にある研究手段として、あるいは特殊な目的のための計測装置と考へて、主観的ではあるが一応戦後に際立つて進歩した電子顕微鏡とか赤外分光器などについて、極く概略的な展望を与えることを目的として筆を進める。なお各装置に共通に目立つ点として 1) 電子装置の発達、2) 各種輻射線に対する検出器の発達、の二つが大體において進歩の基礎をなしているという観点に立つて、記述を進めて行くことにする。

〔II〕 電子顕微鏡

その発達は電磁界における電子線の反射、屈折、結像、あるいは色々の収差などに関する理論的取扱いが電子幾何光学という独立した体系にまで発達してきたことに基礎を置いている。装置自体としては未だ不安定な進歩の過程にあり、光学顕微鏡のように終局的な形までには達していないが、両者を対比するとき電子線と光波の本質的な相異は論外として、共通する主要点は結像ならびに収差に関する問題である。電子線の波長が光波に較べて格段に短かいため理論的分解能は 2 桁ないし 3 桁は高くなり、収差に対する要求も高度となり、たとえば色収差についても光学顕微鏡のように白色光を用いるというようなことは到底困難で、高度の単色光を必要とし、そのためには加速電圧の変動を 10^{-5} 以下に押える必要が生

* 日立製作所多賀工場

じてくる。同様の考へからコイル電流を同程度あるいはそれ以上に安定化されることが必要となるが、副産物的に電圧、電流安定電源の発達に果たした役割は非常に大きかつたといふことができる。このように色収差の除去に対し単に安定度の向上という面にだけ止まらないで、光学の色消しレンズ系に対応して日立において色消し電子レンズ系の設計が確立されたこと、および永久磁石レンズ系に関する研究が結実したことは特筆すべきであろう。すなわち加速電圧の変動に基づく像のボケは色消しレンズ系の採用によつて、格段に少なくなり悪条件下における解像度の低下を少なくすることに成功したのである。また永久磁石レンズ系についても困難な変倍の問題が解決されたことは、わが国のすぐれた磁石材料とあわせ考へるとき、将来の電子顕微鏡のあり方をはつきり示すものと考えられる。球面収差については光学顕微鏡と異なり非常に大きい、レンズの開口角を $10^{-2} \sim 10^{-3}$ ラジアン程度にしても明るさが十分取りうるし、また焦点距離を短かくすれば球面収差を小さくしうるからあまり大した障害にはならない。電子顕微鏡の性能に最も大きな関係を持つのは、レンズ内における電磁場の非対称性であつて結果的に非点収差となつて現われる。レンズ内に入れる絞りの汚れも非点収差の原因となる。非点収差の低下についてはレンズ材料の研究、加工精度の向上などの正統な進め方と並んで、磁場の非対称性を補償することによつて、解像度の低下を防ごうとする方法が提案されている。実際には絞りの汚れに基づく非点の除去に十分役立つことが実証され、最近の電子顕微鏡に採用されつゝある。その構造はレンズ磁界内に磁極を挿入して附加的に弱い磁場を作り、磁極の位置を微細に調整す

ることによつてレンズ磁界の不均一を補償するのである。その他試料を照射する電子線束を小さくして、熱的障害を少なくし解像度を向上させるため、フィラメントの電子発射源を極力小さくする試み、あるいは二重コンデンサによる光源の縮小化などが最近とりあげられている。上述した色々の解像度低下の原因以外に、光学の場合には全く考える必要のない外的障害——電磁障害、振動、荷電など——に関する問題があつて、各収差とならんで電子顕微鏡の設計を決定する重要要素である。実際には先の学問的興味の中心となる各収差以上に、決定的な影響を持つてゐることは十分留意する必要がある。なお本来の解像度の向上という進み方とともに、試料の加熱、冷却、反射検鏡、あるいは制限視野回折、高分解能回折などの問題が研究手段として漸次浮び上つてきて、電子顕微鏡の応用分野を拡げつつあるのが現況である。また試料に対する透過性能を向上させるため、超高压加速(300~500 kV)がとりあげられつつあることも注目しなければならない。

[III] 質量分析計

質量分析法は混合物を質量の差を利用して分離定量する方法であるが、直接に分離することが非常に困難で分析の目的には合致しない。したがつて混合ガスを分析するような場合には分子あるいは原子がまばらに自由な運動をしているのに対し、電子を衝撃させてイオン化したり、複雑な分子を幾つかの破片にわけてえられる荷電粒子を電磁的に分離し、定量するのである。電子衝撃の代わりにガス中で放電を行わせたり、固体の場合には高周波によりスパークさせてイオン源を形成させることができる。こうして生じたイオンを加速して高速度のイオン流を作り、せまいスリットを通して電磁場に送りこむと、光源におけると同じように分散収斂をうけ像面上にスリットの像を結ぶ。この場合光の波長に相当する量として質量と電荷の比——比電荷質量——をとれば分光光学におけると同様な関係が成立する。像面上でどの程度まで小さな質量差を測定できるかという点が装置の性能に対する最も重要な目安となり、これを分解能と称する。像面に写真乾板を置いたものを質量分光器といい、表題の質量分析計と区別する。もともと質量分析器は J. J. Thomson, Aston による Ne の同位元素の発見にその端を発しているのであつて、発達の歴史を辿つてみると主としてその目的は同位元素の存在比の測定、原子質量の精密測定にあり、常に真空技術の進歩、イオン幾何光学の発達に助けられて分解能の増大、収斂性の向上へと進んできたことが認められる。しかし存在比の測定と原子質量の精密測定という二つの目的は、ある意味におい

て相異なる方向をとるのであつて、たとえば原子質量の測定は、写真乾板上におけるイオン像の位置の測定精度によつて一義的にきめられてしまうから、イオン源スリットをせまくしてその像を鮮明に結像させ、分解能を極力向上させることが望ましい。したがつて光学系も二重収斂系を用い非常に大きな装置になる。一方存在比の測定は写真乾板上の同位元素による各イオン像の黒化度の比を精密に求めることを目的とするから、質量差1の像が分離できれば十分である。したがつて分解能も数百程度で十分となる。また高精度の測定を行うためには、イオン流を直接測ることが望ましい。したがつてイオン像の検出装置として写真乾板の代りに検電器や Faraday chamber が用いられ、光学系も方向収斂のみの単収斂系で十分となる。この方式の装置を普通質量分析計と称し質量分光器と区別しているが、原理的にはなんら異つた点はない。こうした質量分析計としては 1918 年 Dempster が発表した 180° 型の磁場を用いた装置が初めてであつて、検出装置としては Wilson の検電器を用い、イオン源もカリウムなどの塩を加熱してえられる熱イオンを利用した。これを現在のように電子衝撃型のイオン源を用い、イオン電流測定に真空管増幅器を用いて 10 万分の 1 の存在比のものまで検出することに成功したのは Nier である。

こうして Nier によつて完成された存在比測定用質量分析計は、その直接の目的以外に気体分子の解離イオン化の研究、安定同位元素の追跡、不活性ガスの分析、複雑な炭水化物の分析などに、他の手段を以てしては換え難いすぐれた性能を持つことが示された。戦後その商品化が行われて現在のガス分析用質量分析計が生れてきたのであるが、実用的な面から残留吸着ガス、高能率イオン源、質量目盛、イオン源の恒温化、イオン電流の増幅記録方式などに問題があり、この面から一段と進歩向上させることが必要である。なお固体分析用質量分析計についても、イオン源、検出増幅装置などを中心として研究が進められており、光学における発光分析装置あるいは Quantometer などとならんでその優劣を競う日も遠くはないと考えられる。

最近存在比測定用としては重水用質量分析計が日立製作所において完成したが、その精度は 30 万分の 1 に達していることが確認され注目をひいている。質量分析計の将来の課題として Process Control 用としていかに生産設備に組み入れるか、あるいは簡単な単一目的用のガス分析計として安価に手軽に供給するかという使命が残されている。また一方純学術的な分野に止まつている質量分光器をその特長を生かしながら、実用的な面へ引張り出すことも十分考えねばならぬことと思う。

〔IV〕 X線分光計

質量分析計と同じような経過を辿った電子応用装置としてX線分光計がある。X線の波長が結晶の規則正しくならんだ原子や分子の空間配列と大体同一程度の大きさを持つていることから（数十分の一Åから数Åまで）結晶に対してX線を照射すると、結晶の格子面は廻折格子が普通の光線を廻折するのと全く同じようにX線を廻折する。この場合波長 λ 、廻折角 θ 、結晶の面間隔 d の間には、つぎの Bragg の式が成立する。

$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

結晶の格子面からの廻折X線は光の反射と類似して入射角と反射角（廻折角）は同一であるが、色々の角度で入射するX線のうち Bragg の式を満足するX線のみが反射（廻折）をうけるので、上記の式は選択反射の条件を示すものである。この廻折したX線を写真乾板にうけると、規則正しい廻折像がえられるから逆にこれを解析してX線の波長が既知の場合は結晶の構造を確定しうるし、また既知の結晶を用いればX線の波長を求めてX線管の対陰極物質を確定することもできる。これをX線分析法と称する。その特長を挙げると、

- 1) 試料になんら物理的、化学的操作を加えないで、そのままの状態で行うこと。
- 2) 被検元素の化合状態には無関係に直接に元素分析ができること。

などである。しかし廻折X線の強度が弱いため撮影に長時間を必要とし、廻折像の解析のためにコンパレータやマイクロフォトメータで線の位置や黒化度を測定する必要がある。このために実用的にはあまり普及しなかつたが学問的にはこの装置によつて始めて色々の物質の結晶構造が確定されたのであつて、その価値はいくら高く評価しても高過ぎることはない。操作上の欠点を除くため写真乾板の代りに検出装置として、Geiger Müller 管を利用し、試料の回転と（入射角を連続的に変化させる）GM管の回転とを連動させ各位置においての計数管に入射するX線量に比例して送られてくるパルスを増幅して、廻折線の位置および強度を自記させるのがX線分光計である。結果がきわめて早くえられ、また直接的であるため、生産工程中における品質管理に大いに役立つことが確認され、新しい計測装置として急速に進展を遂げたものである。上記のX線廻折法はもつぱら結晶の構造を解析し未知元素を確定したり、不純物を調べたりするに用いられるが、元素の定量分析には螢光X線を利用する。たとえばタングステンの対陰極から出る短波長のX線を、試料に照射してでてくる螢光X線をさらに水晶とか岩塩の結晶を廻折格子として分散させると、二次X

線中に含まれる各波長のX線はそれぞれ Bragg の式で定められる方向に廻折する。この廻折線をGM管にうけて自記させれば、あらかじめ用意された各種元素の二次X線のチャートから被検試料中の各元素を知ることができるし、ピークの高さからその量を知ることができる。この方法は光学において紫外線を試料にあてて生ずる螢光を分光し、分析を行うのと原理的に全く同じである。またX線がある物質中を通過するとき、原子番号の比較的大きい元素によつて吸収をうけ、しかも普通の光と同じように Beer の法則にしたがう性質を利用して定量分析を行うことも可能であり、将来大いに発達するものと考えられる。これらの分析法はいづれもX線の検出装置としてのGM管のすぐれた検出感度に依存するのであるが、これについては光の放射能測定器の項で述べる。

〔V〕 放射能測定装置

各種の光線、X線あるいは熱電子、光電子、コンプトン電子などと異なり、直接原子核から放出される放射線には周知のように α 線、 β 線、 γ 線あるいは中性子などがある。これらの放射線に関する研究はサイクロトロンとか原子炉が出現するまでは、主として原子番号の大きい天然放射性元素について行われてきたのであるが、最近ほとんどすべての元素について放射性同位元素を作ることができるようになり、しかもその大部分のものは大量に強い放射能のものを入手することができるようになったので、その応用分野の開拓はきわめて目覚ましいものがある。これらの放射線を検出する方法としては色々あるが、そのうち主として実用されるのは各種放射線の一次的あるいは二次的の電離作用を利用する方法である。いうまでもなく α 線はヘリウムの原子核であり、 β 線は電子であるから高速度で走るとき、自分の周囲に作るクーロン電場の中に這入ってくる分子や原子の外側の電子をはじき飛ばして、電子と正のイオンの一対を作る。このイオン対を電場内部で作らせると電極間に非常に微弱な電流が流れる。この微弱な電荷の移動を検電器によつて測ることもできるし、またこの電流を高抵抗を通じて接地し、入力インピーダンスの大きな真空管電圧計で直読することもできる。 γ 線やX線は直接の電離作用は持たぬが、光電効果やコンプトン効果によつて管壁などから電子をたたき出し、間接にイオン対を作る。この検出装置を一般に Ionization Chamber と称するが、線量率計はこの一種で単位時間にくる線量を直接指示し、主としてX線、 γ 線をその測定の対象としている。問題は高抵抗（ $10^9 \sim 10^{10} \Omega$ ）とグリッド電流の少ない（ $10^{-13} \sim 10^{-14} \text{ A}$ ）電位計用真空管であつて、日本では未だ満足なものはいない。この線量率計は平均値を示す

もので一箇一箇の放射線を検出することはできないが、電極を増幅度のきわめて高い増幅器につなぎ箇々の放射線粒子による電氣的脈動を歪みのないよう増幅すると、一箇一箇の粒子を検出することができるようになる。また出力の読みは始めの電氣的脈動の大きさに比例するから、逆にどんな放射線が飛びこんできたかがわかる。一般に γ 線、 β 線は電離作用が弱いからこの装置では検出できなくて(増幅装置固有の雑音と同じレベルになつてしまう) α 線、プロトン、速い中性子による原子核ウラニウムの分裂などの検出に用いられ、これを比例増幅装置と称する。いずれにしても電離槽において放射線によつて生じた一次イオンをそのまま電極に集めるのであるが、電極にかける電圧を高め、電離の際に生ずる電子の累次的電離作用を利用できるまで持つてきて管内で電流を増大するのが計数管である。計数管は円筒形の金属製陰極(30~50 ϕ)と、その軸に沿つて張られたタングステン線(0.1mm程度)の陽極からなつている。これらの電極はガラス管の中に封入され、管の中にはアルゴンやアルコールの蒸気を混ぜてつめてある。計数管も電極に与える電圧の大きさによつて比例計数管とGM計数管の二つに分けることができる。前者は比較的電圧が低く、放電電流が一次イオン数に比例する範囲の電圧がかけられ、後者は放電電流が一次イオン数に無関係に一定となる範囲の電圧をかけて用いる。比例計数管は一般に β 線や γ 線の存在するところで α 線や陽子を検出するのに用い、GM管では放射線を区別することができないから(放射線に無関係に一定の放電電流が流れる) α 線やプロトンを遮つて β 線、 γ 線、X線を測定するのに用いられる。GM計数管はその中に現われた一箇一箇の電子をあますところなく検出できるという測定器として原理上許される最高の感度を持つている上に、管内の気体放電による電氣的脈動がかなり大きくなるので、その真空管増幅器もきわめて簡単でよいという長所があり、原子核物理学の範囲のみならずX線の測定などに至るまで広く用いられるようになった。殊に人工放射性元素の普及とともにこれが医学、生物学、工学などの諸分野に広く利用されるので、放射能測定管としてのGM管の需要はきわめて多く、いろいろの型式のものが作られている。

[VI] 分光光度計

放射線が物質の物理的、化学的状態に対応して、それぞれ特長のある相互作用を示すことを利用し、放射エネルギーあるいは放射光束の相対量を波長の函数として求めることは非常に有用な研究手段、分析手段である。このための装置を一般に分光光度計と称するが、波長域に

応じて紫外、可視、赤外の名前を冠して呼ぶのが普通である。根本的な原理は全く共通であるが放射線の種類に応じて光源、分散体、検出装置が異つてくるので、一般におのおのは独立した装置として扱われている。先に述べたX線やマイクロウェーブについても同じように分光光度計が考えられるが、これらは未だ全く純学術的な分野にとどまつているのでここでは触れない。

厳密にいうと原理的には放射エネルギーの特性を直接測る絶体法と、放射光束の相対量を測る相対法とに区別して考えなければならない。

前者は蛍光スペクトル、炎光スペクトル、発光スペクトルなどのように光源に被検試料そのものを放射源として用い、また後者は連続スペクトルをだす水素放電管、タングステンランプ、ネルンストラップ、炭化珪素棒などを光源として試料を照射する違いがある。

相対法の原理は周知のように光源からでた連続スペクトルをプリズムあるいは廻折格子によつて分散させ、その中からある波長幅の単色光を取り出して試料を通過させ、一部吸収されてでてくる光を検出装置にうけて吸収の割合を測るのである。

紫外部では光源として水素の分子スペクトルを利用する目的で水素放電管を利用し、分散体としては普通石英のプリズムを使用する。プリズム材料としては天然の水晶を利用すると混晶、歪み、キリなどのために良質の大型プリズムを作るに適する材料はなかなか見つからない。このため熔融石英を材料として大型プリズムを作るが、均一で脈理のない大きなブロックを作ることは技術的に困難で日本では未だ完全なものできていない。

検出装置としては光電管、光電子倍增管を利用し、えられる光電流を増幅して指示計を動作させる。

光電管は従来紫外部、可視部において最も感度の高い検出器とされているが、単に光電管のみでは十分高感度の検出を行うことは不可能で、まず光電流を高抵抗を通じて接地し、生ずる電圧降下を精密に測定することが必要である。幸い光電管は光電池と異なりその内部抵抗が非常に高いため、十分大きな高抵抗を負荷としてつなぐことができる。しかし高抵抗に生じた電圧降下を正確に測定するためには、つぎに続く測定回路の入力インピーダンスを十分大きくする必要があり、この点から微小電流増幅用としてグリッド電流の非常に少ない電位計用真空管が要求され、FP 54を始めとして色々の真空管が作られている。

先に述べた線量率計、質量分析計はいずれも全く同様で、こういう特殊な真空管が生れて始めてこれらの装置が完成したといつても過言ではない。

上述の方式はいわゆる直流増幅であるが、増幅の限

界を抑えるものは光電管の暗電流であつて、現在の $10^{-10} \sim 10^{-12} \text{A}$ 以下に小さくすることはちよつと望みがない。

暗電流の影響を避けるためには光を交照し、交流増幅方式をとることも考えられるが、最近光電管と高性能増幅器を一つの管球に組み入れたとでもいふべき光電子倍增管の出現によつて、検出感度そのものは確実に一桁ないし二桁高めることができるようになった。微量測光の分野で革命的な進歩をもたらしたものとして注目される。

可視部については特に紫外部と異つた点は認められず、光源にしる分散体にしる入手の簡単なもので間に合うので最も普及している。

赤外部になると事情はすっかり変つてくる。赤外線は振動数が小さくなり光電管のように適当な検出器がなく、主としてその熱作用を利用するものが実用される。また分散体も硝子や石英は赤外線に対し不透明なので、塩化ナトリウム、塩化銀、臭化加里などの結晶を用いねばならない。さらにえられる吸収特性も検出感度が低いことも関連して、紫外部や可視部と異なり、非常に急激なピークを示し、到底メータを読みながらプロットすることは不可能で自記記録させる必要が生じてくる。

これらのために赤外分光光度計は他と較べて困難な問題を内臓しており、その発達は最も遅れたのである。

熱的検出器としては熱電対やボロメータが用いられるが、戦前はこれらの検出器と高感度検出計の組合せが最も多く用いられていた。しかしこの方式では検流計自身のブラウン運動によつて検出の限界が抑えられ、なお光電管の暗電流に相当する熱的ユラギによる指示の不安定を免れることはできない。この点を避けるために 1940


年頃から輻射を $5 \sim 15 \mu$ で断続し、低周波の交流増幅が行われるようになった。しかし今度は熱電対のレスポンスが問題となつてきたので、熱電対に関する研究は飛躍的に進んだ。

なお実際問題として検出器を入力回路にマッチさせるための特殊な昇圧変圧器に対し、外部からの振動誘導などが雑音となつて現われ、全体の性能を低下させる。これらの抵抗雑音、誘導雑音、電流雑音などを極力少なくして、理論的の信号/雑音比に近くまで慎重に実際の検出増幅回路を構成する点にその困難さがある。

赤外検出器としては 4μ くらいまでの範囲では、 P_bS 、 P_bT などの半導体光電導物質が用いられ、上記熱検出器に較べて約100倍の感度を持っている。したがつて従来比較的困難とされていた $1 \sim 4 \mu$ の範囲の高分解能の測定が可能になり、高次振動の解析が行われるようになった。

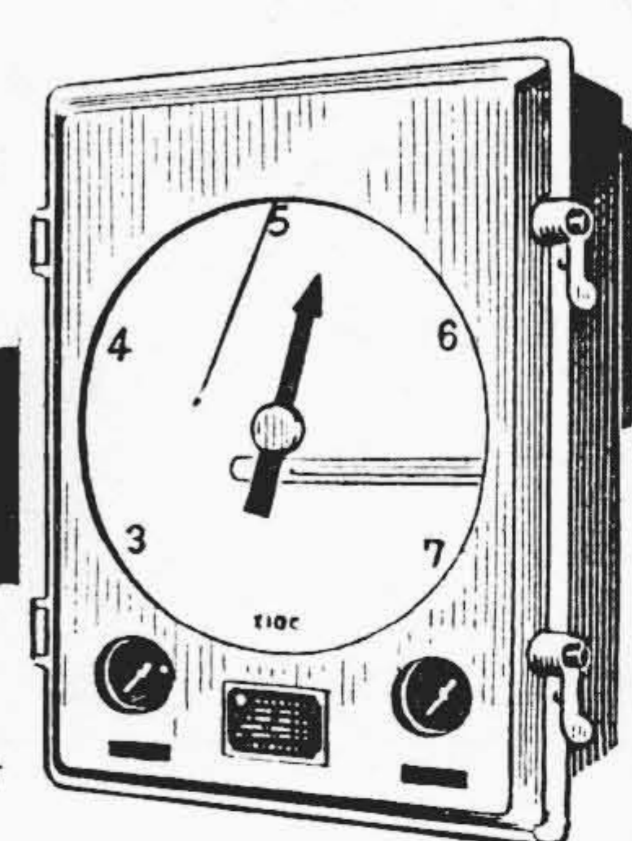
絶体法では輝線スペクトル測定が主となり、差し当りその代表的なものとして炎光分光光度計、クワントメータが挙げられる。この場合は相対光度計と異なり、検出感度に対する要求には限りがなく、検出装置に対する要求がますます高められ、同時に強力で安定な輻射源、明るい分光器がそれに伴つて進歩してきた。

以上で決してすべてを尽しているわけではなく、各種の基礎的な要素に関しても未だ安定した形にまで達していないので今後に残された問題ははなはだ多いといわねばならない。しかし本質的には輻射と物質の相互作用という直接的な手段の上に立つ装置であるから、原理的にはなんら変りなく、絶えず進歩を続けて、やがては一応の落ち着いた計測装置に達する日も遠くはないであろう。



化学装置の計装化に

日立工業計器



温度計 (熱電及抵抗温度計)

流量計

トラフトゲージ

CO₂ ガス計

液面計兼警報計

電子管式自動平衡計

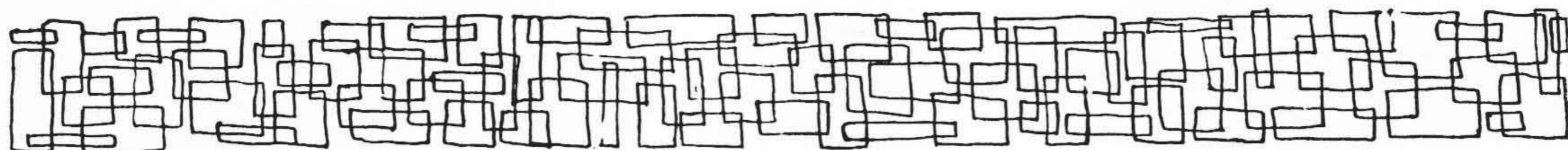
各種調節計

熱計器盤

PVQ型電子管式

自動平衡記録調節計

日立製作所



日立製作所社員社外寄稿一覽 (昭和30年5月分受付)

寄稿先	題名	執筆者所属	執筆者
燃焼社 真空機器協会 交通経済社	日立式熱管理自動制御装置最近の進歩 気体の熱伝導を利用した真空計 (技術解説) バスの電装品	日立工場 中央研究所 多賀工場	吉岡孝幸 近藤彌太郎 杉浦慎三 伴野正美
工業資料社 日本冷凍協会 日本石炭協会 産業機械協会 日本化学会 火力発電技術協会 家庭電気文化会 電気学会	高周波用トランジスタについて ターボ冷凍機の趨勢について ループロワーのついで 360t 天井クレーン β-アロイルアクリル酸アリルについて トッパタービンの計画と実際 扇風機形態の変遷四方山話 水素気中における直流機の整流特性	中央研究所 栃木工場 川崎工場 本社 日立研究所 日立工場 多賀工場 日立研究所	徳山 巍 伊達 俊一 緒方 剛二 佐々波 昭二 古賀 彌 加藤 正敏 高木 関蔵 一木 利信 岩 淵 芳雄
小峰工業出版株式会社 電気学会 電気学会 電気学会 日本規格協会 西部炭鉄保安協会 日本電気協会 工業資料社	工場設備としての空気圧縮機 日本における最初の自動周波数調整装置 287.5 kV 制弧遮断器遮断特性 新設大容量遮断器実験設備 品質管理の概要 日立防爆型ディーゼル機関車について 四国電力松尾川第一、第二発電所周波数自動調整装置 真空管の寿命について	川崎工場 日立研究所 日立研究所 日立研究所 多賀工場 笠戸工場 本社 中央研究所	印牧 宗一郎 西堀 博元 牧 元 牧 元 渋谷 憲二 浜原 一 加藤 寧 高田 昇平 高島 正三
火力発電技術協会	再熱蒸気タービンの制御装置	日立工場	綿森 力哉 和 田 静哉
小峰工業技術株式会社 電気書院 日本化学会 コロナ社 コロナ社 赤外線技術連合会	日立新型横フライス盤について モートル君大いにグチる 高分子物質の高濃度溶液粘度の研究 (第3報) フロン 遠心および軸流圧縮機の応用 赤外線電球の工場試験ならびに (豆ニュース) 新型 実験用赤外線炉	川崎工場 本社 日立研究所 川崎工場 川崎工場 茂原工場	松本 源次郎 細谷 栄次郎 中牟田 昌治 阪倉 康男 伊藤 茂 山本 徳太郎
日刊工業新聞社 電気学会 小峰工業技術株式会社 産業機械協会 日本鉄鋼協会 日本鉄鋼協会	工作機械の潤滑油管理 負荷時電圧調整変圧器の異常電圧の抑制 工作機械精度の経年推移について ターボプロワの取扱いについて ガスタービン用 Ni-Cr 系 (20~15%) 耐熱鋼の諸性質におよぼす Nb, V, Ti および N ₂ の影響 (1) ガスタービン用 Ni-Cr 系 (20~15%) 耐熱鋼の諸性質におよぼす Nb, V, Ti および N ₂ の影響 (2)	桑名工場 日立研究所 多賀工場 川崎工場 安来工場 安来工場	渡辺 弘 三浦 倫義 安藤 恒夫 確井 都 小柴 定雄 小九 重常男
経営研究所 日本鉄鋼協会	サービスの経営的意義外来語の管理分析的考察— 低合金鋳鋼の研究 (第1報)	戸塚工場 亀有工場	溝井 正人 宮崎 勢四郎