U.D.C. 543.422.8

X線マイクロアナライザとその応用

Electron Probe X-ray Microanalyzer and its Applications

渡辺宏*三村忠治**岡野寛* Hiroshi Watanabe Chūji Mimura Hiroshi Okano

内 容 梗 概

X線マイクロアナライザは新しい非破壊微小部分析装置としてここ数年来めざましい発展をとげ,応用範囲の広さからみて近い将来電子顕微鏡と同じ程度の普及を見るものと期待されている。

日立においては1958年より試作,研究に着手し,現在XMA-4形を最初の製品として出すに至っている。 XMA-4形の機構の細部にわたる説明,実際の使用例を,分解能に関する実験、考察などとともに述べた,

1. 緒 言

X線マイクロアナライザは新しい非破壊分析装置として近年めざ しい発展を示している。本装置は電子線衝撃によって発生する一次 X線を利用したもので、原理的にはきわめて簡単なものである。10 ~50 kV 程度の電圧で加速された電子を、 $1\mu\phi$ あるいはそれ以下の 径に絞って試料を照射する。その電子は試料表面の約 $1\mu^3$ の微小部 分に含まれる元素を励起し、一次X線を発生せしめる。この一次X 線を分光し、特性X線の波長および強度を測定すれば、微小部分の



定性,定量分析ができる。蛍光X線分析もやはり非破壊分析法の一 つであるが,X線の照射領域を100^{µ2}以下にすることは事実上困難 であり,試料内への浸入深度も100^µ程度は考えられるので,上記 のような微小部分の分析はとうてい不可能である。

1µ³程度の微小領域の成分分析を必要とする問題は現在数多く残 されている。たとえば、化合物または固溶体組織の決定、合金中の 偏析、メッキ、クラッド材などの拡散現象、鉄鋼中の非金属介在物 の研究などで、特に金属学の各分野において広く、かつ有効に利用 されるものと期待されている。

フランスの Castaing⁽¹⁾ が 1949年に最初の実験を行って以来,約 5年間は Castaing 以外のところでは着目されなかったが,その後 1956年には3~4台の実験装置が組立てられ,1959年末には20台以 上(ソ連を除く)となった。1960年頃よりメーカーの製品が本格的に 出始めたので,応用範囲の広さからみて近い将来電子顕微鏡と同程 度の普及を見るものと期待されている。

1957年項,イギリスの Cosslett⁽²⁾ らが考案したスキャンニング X線マイクロアナライザは本装置の普及に拍車をかけた。これは, Castaingの考案したスタティックタイプと走査顕微鏡の考えとを組 合せたもので,特定元素の分布状態を二次元的に観察しうる装置で ある。Cosslett らは光学顕微鏡の代りに反射電子像を用いた。現在 では,このスキャンニングタイプとしても,スタティックタイプと しても使えるようなものが作られる傾向にある。

日立製作所においては、1958年に電子顕微鏡を改造して試作1 号機(XMA-1形)を作り、予備実験に着手した。XMA-1形は 分解能約10µ、空気通路で平板結晶形の分光器を使用し、また光学 顕微鏡の倍率は60倍といったものであった。翌1959年にオリンパ ス光学、理学電機と提携しXMA-2形を⁽³⁾、1960年にはこの装置 から得られたデータをもとにしてほぼ製品化された XMA-3形⁽⁴⁾ を完成した。製品としては3形の一部をさらに改良した XMA-4 形が出され、これはスタティックタイプとスキャンニングタイプと を組合せた装置である。第1図に試作装置の外観を示す。

第1図 X線マイクロアナライザの外観

2. X線マイクロアナライザの構成

X線マイクロアナライザは,(1)小さい電子プローベを作るため の電子光学系,(2)試料室,(3)X線分光器および記録装置,(4) 分析箇所を観察するための光学顕微鏡,(5)スキャンニング装置, (6)モニタ装置,(7)安定電源,(8)排気系の各部分からなりた っている。第2図は電子光学系,光学顕微鏡,試料室,X線分光器 などの構成図である。

以下, XMA-4 形を中心に各部分の機構を述べる。

2.1 電子光学系

第3図に XMA-4 形の第1,第2 集束レンズおよび試料室の断面を示す。

電子光学系に要求される性質としては,

- (1) 十分に高い輝度(少なくとも 10⁵ Amp/cm² sterad.)を有す
 る電子源をもつこと。
- (2) 電子源を 1/100以下に縮小できる電子レンズ系をもつこと。
- (3) 軸調整機構が完備していること。

などである。

現在の高性能電子顕微鏡の電子銃はタングステン線をヘアピン形 にまげたフィラメントと Wehnelt 電極とを用い,フィラメント温 度 2,800°K くらいで $3\sim5\times10^5$ Amp/cm² sterad.の輝度を有し,直 径 $40\sim60\mu\phi$ のクロスオーバポイントを作っているので,XMA-4 形においてはこれをそのまま利用した。第3回に示すように,電 子レンズ系は第1,第2集束レンズおよび投射レンズから成り,2 個の集束レンズは電子線を絞るために用いられ,投射レンズは電子 スポットを数百倍に拡大して,蛍光板上でレンズ系の軸合せの良否 を監視するために用いられる。第1集束レンズの縮小率は $2\sim1/30$,

* 日立製作所中央研究所** 日立製作所那珂工場

昭和36年9月

計 測 器 特 集 号 第2集

日立評論 別冊第44号



----- 58 -----

第2図 鏡体およびX線分光器の構成

第2集束レンズの縮小率は、試料の位置が固定しているために第1 集束レンズの像面の位置によって決まり、最小¹/₁₂である。したが って、総合縮小率の最小値は約¹/₃₆₀で、レンズの収差を無視すれば 約0.1µ¢の電子スポットが試料面上に得られる。実際の測定ではこ れに近い0.18µ¢という値を得ている。なお、非点収差を補正する ために第2集束レンズ中にスティグマトール(非点収差補正装置)が 組み込まれている。加速電圧は20,25,30,35,40,45,50kVの7段階 切替えになっており、試料に応じて適当な電圧を選ぶことができ る。

2.2 試 料 室

試料室は第3図に示されるように試料ホルダ,その微動機構など よりなる。試料ホルダには10mm Ø×5mmの試料受け穴4個,標準 試料用の1mmøの穴が16個および電子線を下の蛍光板で観察する ときに用いる3mmøの突抜け穴があいている。各試料,各標準試 料および突抜け穴は試料微動ダイヤル上に付したマークによりおよ その位置を決定し、細かくは光学顕微鏡下で調整する。 試料微動は 水平面内のX, Y方向に1µ以内の精度で真空外より行う。上下の 微動,傾斜,電子線を軸とした回転も真空外より行うことができ る。上下微動は、光学顕微鏡の対物レンズが固定されているため、 そのピント合わせに用いる。傾斜の範囲は水平±15度以内で、これ により試料面に対して最大25度の角度でX線を取り出すことがで きる。水平面内の一方向は自動送りが可能で、その速度は18,36, 60 µ/min の三段階切替えとなっていて、これは特定成分の分布状態 をみるときに用いる。送り速度は測定精度からいえば遅いほどよい わけであるが、測定時間と電源の安定度から限界がある。 2.3 X線分光器および記録装置 X線分光器としては集中形の結晶分光器が用いられている。その

第3図 XMA-4形第1, 第2集束レンズ, 試料室などの構造



光路および外観を第4,5図に示す。集中法の条件に従ってX線源 (試料の分析点),わん曲結晶および検出器の受光スリットは同一円 (Rowland 円)周上に等間隔に置かれ,検出器は常に結晶の中心をね らうようになっている。このような関係で結晶および検出器が運動 すれば常に Bragg の条件式 $2d\sin\theta = \lambda$ X線マイクロアナライザとその応用



 1: X 線 検 出 器
 3: X 線 取 出 窓

 2: Rowland 円の中心
 4: わ ん 曲 結 晶

 第5図 X 線 分 光 器 の 外 観

が満たされる。集中法を用いると、X線源から発散したX線が結晶 で回折後受光スリットに集中されるため、特に点X線源を使用する 場合に強度的に有効である。結晶および検出器の運動としては、 Rowland 円の中心を固定させるもの、Rowland 円の中心をX線源 の回りで回転させるものなど色々の方式が考えられるが、XMA-4



760 mm Hg の場合と、1mm Hg の場合とでは強度に約 20 倍 の変化がある。X線通路の長さは約 360 mm。

第6図 TiKα(2.75Å)の空気による吸収

形では後者の方式を採用し,結晶をX線源に対して直進運動させる ようにした。X線源から結晶までの距離をl, Rowland 円の半径 をRとすると(**第4図**参照)。

$$l=2\,R\sin\theta$$

が成り立つので、上式と Bragg の条件式とから

$$\lambda = -\frac{d}{R} l$$

なる関係が得られる。したがって、適当なギャ機構を用いて $l \ge \lambda$ に変換すれば波長 λ を Digital に目盛りとして表示することが可能となる。

- (1) 結晶直進方式,波長直接指示。
- (2) X線の被暴面積が狭く安全である。
- (3) 結晶および検出器の移動範囲が比較的狭いため分光器の真 空容器が小さなものですむ。
- (4) 結晶のX線を受ける方向が一定であるから,水平面内のX 線強度分布に伴なう誤差を取り除くことができる。

など数多くの利点をもつ。

XMA-4形では、結晶として LiF および mica を、検出器として S. C. (Scintillation Counter) および P. C. (Proportional Counter) を備え,長波長領域 (12~2.2 Å) には mica-P.C.の, 短波長領域 (3.9~0.6 Å) には LiF-S.C. の組合せで分析を行うようになってい る。すなわち、KまたはL系列の適当な特性X線を用いることによ って¹¹Na よりも重いすべての元素を分析することができる。結晶 の曲率半径 (Rowland 円の半径) は 250 mm で, LiF, mica は一 つの結晶ホルダ上に背中合せに支持されていて真空外よりホルダを 180度回転させることにより容易に交換することができる。検出器 としてはユニヴァーサル方式が採用されている。これはS.C.のす ぐ前にP.C.を置き,長波長のX線はP.C.で,短波長のX線はP. C. を通過後S. C. で検出するというもので,二台の検出器の切替え はまったく電気的な操作でできる。P.C.は Gas Flow Type のもの で、A90%-CH310%の通称PRガスを流して用いる。 長波長のX線は通路が空気中であるとその吸収をはなはだしく受 ける。このため、分光器全体が鏡体とフランジで接続した真空容器 内に収められる。ケース内は高真空か,あるいは H2, He などの軽

____ 59 ____



いガスを流すことが可能で、後者の場合には鏡体とケースとを厚さ 7 μ 程度の薄いマイラー膜で分離し、鏡体の高真空を保つ。第6図 は TiK α (λ =2.75Å)の通路中で受ける吸収を見た例である。

XMA-4形においては分光器全体が水平面に対して 10 度傾いて いる。これはX線の取り出し角度(試料面と取り出し方向とのなす 角度)が浅いと試料中での吸収が測定に影響を与え,試料表面の平 滑さなどが大きく問題となるため傾斜を持たせたものである。その ほか,分光器は手動および 0.012, 0.05, 0.2, 0.4 Å/min の走査速 度を持ち,分析目的に応じ適宜選択する。第7図は分光器操作板の 写真で,走査速度の切替えノブおよび波長指示目盛が見られる。

記録装置としてはスケーラ回路による計数装置と, レートメータ 出力を記録する自動平衡形記録計とがあり,分析目的に応じて使い 分ける。

結晶交換は外部SWにより真空中にて交換することができる。 2.4 光 学 顕 微 鏡 光学顕微鏡は第3図に示すように,第2集束レンズ中に電子線軸 と同軸に組み込まれている。X線マイクロアナライザの性能を十分 に発揮するためには光学顕微鏡の性能が十分高く,X線的な分解能 と同等の分解能をもつことが必要である。 XMA-4形に用いられる光学顕微鏡は反射対物鏡を採用してい 昭和36年9月

計 測 器 特 集 号 第2集

日立評論 別冊第44号



第8図 スキャンニングX線マイクロアナライザの構成

る。反射対物鏡は屈折対物鏡に比べ多くの利点を持つ。

すなわち,

(1) 作動距離が大きく, 試料からの反射電子による汚れが少ないこと,



第9図 スキャンニング装置像観察部の外観

- (2) 大鏡と呼ばれる凹面反射鏡の中央には本来穴が あいているので,電子線通路におくのに好都合 であること,
- (3) 対物鏡がすべて反射鏡から構成されているので、これらを全部金属で作り、荷電を防ぐことができること、

などである。XMA-4形のものは倍率約400倍,分解能 0.7 µ, 作動距離23 mm, 実視野 0.5 mm ø の性能を有す る。

2.5 スキャンニング装置

第8図にスキャンニングX線マイクロアナライザの構成を,第9図に像観察装置の外観を示す。スキャンニング装置は大別して,鏡体中の偏向装置,偏向電源,観察用ブラウン管およびこれらに付随する各種電気回路とからなる⁽⁵⁾。

原理は,鏡体の電子ビームとブラウン管のビームとを 同期掃引しておき,同時に特定の特性線のみを受けるよ うにセットされた分光器からの出力でブラウン管の輝度 を変調し,特定元素の分布拡大像をブラウン管上に得よ うというものである。画面には検出している元素の多少 に応じて明るさの強弱が生ずるので,像の明暗から濃度分布を知る ことができる。

XMA-4形では,静電偏向板を光学顕微鏡の反射対物鏡と試料と の間の光線通路として使用されない空間に設けているため,電子線 走査を行いながら同時に光学顕微鏡で試料を観察することができる (第3図参照)。Cambridge 社の製品ではこの同時使用はできず, 試料から放出される総X線および2次電子によるいわゆるElectron Image で光学顕微鏡の代用をしているが,Electron Image と光学 顕微鏡像との対応性については疑問の点が多く,XMA-4形のよう に同時に使用できることが望ましい。 本装置は走査時間が X:0.02 s, Y:4~100 s, 観察視野が 0.5 ×0.5 mm, 倍率が200~2,000倍の性能をもっている。ブラウン管 は 300 mm (12 インチ)の静電偏向形で,超残光性蛍光体の使用 (残 光時間 7 s)のものである。通常,像を観察する際は残光を利用す



Y軸はゆっくり掃引しておき、X軸は最初適当な直流電圧を加えて測定箇所を選 択する。選択後、ブラウン管の偏向板にのみレートメータの出力を加え画面で濃 度分布をビームのふれとして観察する。

第10図濃度分布指示回路

---- 60 -----

るのでこのようなブラウン管を用いた。このほか,像の明暗だけで は元素の濃度が定性的にしか判定できないため,任意の一直線上の 濃度分布をレートメータを用いてブラウン管上にビームの振れとし て表わす機能を持つ。この時の回路を 第10 図 に示す。使用方法は 次のとおりである。Y軸は周期 100 s ぐらいでゆっくり走査し,X 軸には最初適当に調節した直流電圧を加えて分析箇所を選択し,次 にブラウン管の偏向板にのみレートメータの出力を加える。もちろ

ん,この時レートメータにはX線検出器からの出力が加えられてい る。また,残像を観察しながらX,Y軸に適当な直流電圧を加え任 意の箇所へ容易に電子スポットを移動することができるので,正確 に場所を選んでその箇所の定性定量分析を行うことが可能である。 XMA-4形のスキャンニング装置の一つの特長は輝度変調時間 調節回路が用いられている点である。これはX線強度が不足で像の きめが荒い場合にX線検出器からのパルスの幅を適宜広げて,像点 Х 線 2 0) 応 用 2 ラ +1-P ナ



一個あたりの輝度変調時間をのばして像を明るくし、観察を助けよ

LENS CURR LINE VOLT

うとするもので、低含有元素の分析の際特に役だつ。

2.6 モニタ装置

X線マイクロアナライザで定量的な分析を行う場合,電子流強度 の変化,試料表面の平滑さが測定精度に影響を与える。 XMA-4形では X線取出し窓のすぐ横に X線検出器(モニタ)を置き,総 X線(連続および特性X線)を検出,記録することにより上記の変化 を監視している。これは総X線の強度が電子流強度の変化、試料表 面の凹凸には対応して変化するが、試料の成分にはあまり依存しな いことを利用したものである(6)。

モニタとしては色々のX線検出器が考えられるが XMA-4 形で は次の理由により硫化カドミウム結晶の光伝導性を利用している。 すなわち,

- (1) 小形であるため,分光器ときわめて近い方向でX線を検出 できる,
- (2) 分光器に用いる検出器のように速い分解時間を要求しない (msec.の応答速度があれば十分),

(3) 検出回路が非常に簡単なものですむ,

などのためである。第11図に実際の使用例を示す。

2.7 安 定 電 源

電子線の強度を安定に保つために加速電圧、電子レンズ電流など の電源を特に安定化する必要がある。電子顕微鏡の場合に比して留 意せねばならぬところは、分析が比較的長時間にわたる点で、短時 間(~10s)における変動とともに、ドリフトには特に注意を払う 必要がある。加速電圧は高圧側よりフィードバックを行い、その変 動は

 $\Delta E/E < 2 \times 10^{-4}/10$ min,



第12図 排気系統の切替操作板バルブ切替えは 電気的にできる

鏡体排気系のバルブ操作はすべてモータ駆動で行い,押ボタン1 個で切替えができるようになっている。 第12図 が排気系統の切替 操作板の写真である。 第13図 はバルブ断面で切替機構の原理を示 している。図中のシリンダをモータ駆動により適当な位置まで動か して切替えを行う。

保安装置としては断、減水時の高圧回路切断装置ならびに警報装 置,低真空時のフィラメントおよび高圧回路の切断装置,X線分光 器の過移動防止装置などを取り付け、操作の安全を期している。

3. ×線マイクロアナライザによる分析

3.1 分 解 能

---- 61 -----

X線マイクロアナライザの分解能は、試料中の検出している特性 X線を発生する領域の広さによって定まる。したがって分解能は電 子スポットの大きさの関数でもあるが,加速電圧,試料の種類など にも左右される。加速電圧は低いほど試料中への電子の浸入深度が 浅くなり,また蛍光X線の影響も少なくなるので分解能は上るが,同 時にX線強度の減少をもきたす。したがって最適加速電圧は分解能 とX線強度とのかねあいで決まる。試料としては、その構成元素が 重いほど、また密度の高いほど試料中での電子の拡散が押えられる ため分解能が上る。試料中での電子の拡散がほとんど無視できるよ

また, レンズ電流の変動は $\Delta I/I < 1 \times 10^{-4}/10$ min, に押えられている。 2.8 排気系,保安装置 鏡体は油回転ポンプ(100 l/min)1台,油拡散ポンプ(400 l/s)1 台, X線分光器は油回転ポンプ (100 *l*/min) 1 台 でおのおの排気す るが, 排気開始後約20~30分で10⁻⁵mmHgに達する。

昭和36年9月

日立評論 別冊第44号



----- 62 ------



ときのX線の強度変化から求め、最小値0.6µφを得た。このように 電子スポット径とX線源径(分解能)とは値にかなりの開きがあり, ブロックの試料を分析する場合の分解能はせいぜい 0.5 μ 程度にと

入深度の差を表わす。It/I∞=0.5なる厚さをt ½とするとt ½は

どまる。

深さ方向の分析範囲は別の方法で求めた。その結果を第15図に示 す。これは Ge と Au について厚さt なる試料から発生するX線強 度 (Ge は Ge K α_1 , Au は AuL α_1 の強度) It と、十分に厚い試料か ら発生する同一特性X線の強度I∞ との比It/I∞ をtに対して求め たものである。Ge Ka (1.25Å) とAu La (1.27Å) の波長が近いのでX 線の吸収による差は少なく, It/I∞ は主として電子の試料中への侵 それぞれ Au L α t $\frac{1}{2}$ = 1,400Å(15 kV), 2,100Å(20 kV) Ge K α t $\frac{1}{2}$ = 1,900Å(15 kV), 3,000Å(20 kV) となる。Geの方がAuよりも原子番号が低いため侵入深度は深く, また加速電圧の上昇に伴う深度の増加も大きい。上述の二つの実験 から、検出し得るだけのX線を放出する領域の大きさは大略数千オ ングストロームであることがわかる。

X線マイクロアナライザとその応用



レプリカの分析

3.2 定量分析

X線マイクロアナライザで定量分析を行う場合,次のような事項 に対して補正を考慮しなければならない。

(1) 波長による検出感度の差異

(2) 波長によるX線通路中で受ける吸収の差異

(3) 波長による分析用結晶の回折強度の差異

(4) 試料による電子線,X線の吸収の差異

(5) 試料中に混在する他元素の影響

電子光学系およびX線分光器の状態を一定にしておいたときに, 純粋な元素から出る特性線の強度を同時に測定して比を取れば(1) ~(3)の要素を消去することができ,Aなる成分の試料中における 成分比CAは第一近似において,

$$C_A = \frac{I_A}{I(A)}$$

と置ける。ここに I(A) は元素のみからなる標準試料からの特性X
 線の強度を、IAは試料中のA元素からの同一特性X線
 の強度を表わす。(4)(5)の要素については Castaing
 の詳しい議論⁽⁸⁾があるが、やはり種々の仮定を必要と
 し、最終的には検量線を作らなければならない。

3.3 使 用 例

X線マイクロアナライザによる分析は下記の3種類 に大別される。

- (1) 電子スポットを試料上の任意の一点に止め, その点の定性,定量分析を行う。
- (2) X線分光器をある特定の特性X線を検出する ように調節しておき,電子スポットと試料と を相対的に移動させて,任意の一直線上の濃 度分布を分析する。

Mn, Fe, Ni, Cu, W, Moの7元素が検出されている。

(1)と(3)とを併用したものが 第17 図 の例で,スキャンニング 像を観察しつつ任意の箇所にスポットを止め,定性分析を行った結 果である。試料はクロムカーバイドのエキストラクションレプリカ である。矢印の点を分析した結果,Fe,Crが検出された。この方法 は前にも述べたように,電子スポットの位置を非常に正確に定めう るため場所を厳密に選ぶことができる。

第18図は分析方法(2)の一例である。試料は鉛快削鋼で、ピークの個所に鉛の偏析があることを示している。(2)と(3)を組合せ、同時にブラウン管上に示したのが第19図の例である。試料はCu-Zn 合金で、Zn 析出物近傍のZn のスキャンニング像と、検出物を 横切るような直線(a-a')上の濃度分布(b-b'-b'')とが同時に示されている。

(3)の分析法, すなわちスキャンニング像の代表的な例が 第20, 21 図である。第20 図は Fe-Cu-Pb 合金の各成分の分布状態を二次



- (3) スキャンニング方式で2次元的に特定元素の 分布状態を分析する。
 第16図は(1)の例で、プラチナジウムと称せられ
- る一種の耐酸,耐熱鋼の小片を定性分析した結果である。ピークの高さは含有量の多少に関係する。Cr,

昭和36年9月

計 測 器 特 集 号 第2集

日立評論 別冊第44号







第20図 Fe-Cu-Pb合金の分析





		A	В	C	D
成	分	FeKα	CoKa	Ni Ka	CuKα
フルス	フルスケール		400 CPS	400 CPS	400 CPS

第22図(B) 粒界近傍の各成分の分布状態

元的に見たものである。第21図はCu-Mn 合金中のCu, Mn の分布状態と光学顕微鏡像とを対応させたもので、粒状組織の内部にはMn が多く、外部にはCu が多いようすが見られる。粒状組織内外のCu の濃度は定量分析の結果粒内21%、粒外56%と求められた。すなわ

粒状物の中には Mn が多く,外には Cu が多い。Cu 像の上の数字は 粒状物内外の Cu の含有量を表わす

第21図 Cu-Mn 合金の分析

----- 64 -----

ち35%程度の濃度差が 第 21 図 にみられる程度のコント ラストを生じる。
第 22 図は Alnico-5 の粒界近傍を、上記の3 方法を 総合的に用いて分析した例である。第 22 図 (A) は定性 分析、(B)は粒界を横切って Fe, Ni, Co, Cu の分布状 態をみた結果で、(C)が Fe, Cu のスキャンニング像で ある。 X線マイクロアナライザとその応用



第22図(C) スキャンニング像による濃度分布の観察

4. 結 言

Castaing がアイディアを提出してから約10年でX線マイクロア ナライザは長足の進歩を示した。特にスキャンニング装置との併用 により、その有用性をいっそう増すことになった。

わが国においては、日立製作所が他社にさきがけ3年前より試作 を開始し,現在製品を出すまでに至っている。1µ前後の微小部分を 非破壊的に分析する方法がほかに見当らない現在,新しい微量分析 装置として今後大きく発展することが期待される。分析可能な成分 範囲の制限,定量分析の精度の高度化など,まだ解決すべき問題が 残されているが、上述の利点を最大限に利用すれば現段階において も研究しうる沢山のテーマが存在すると思われる。

終りにあたり, 試料をご提供いただき, また公表をお許しいただ いた方々, ならびに本装置の製作になみなみならぬご協力をいただ いた理学電機, オリムパス光学, 池上通信機の関係者各位に厚くお 礼申し上げる。

参考 文献

- (1) R. Castaing & A. Guinier: Proc. 1949 Conf. Electron Microscopy,
- (2) P. Duncumb & V. E. Cosslett: X-ray Microscopy and Microradiography,
- (3) 渡辺: 化学の領域 14, 4, 46 (1960)
- (4) 渡辺: 第7回応物連合講演会 (1960)
- (5) 渡辺, 岡野: 日本物理学会分科会 (1960)
- (6) 渡辺, 岡野: 第8回応物連合講演会 (1961)
- (7) 渡辺, 岡野: 日本物理学会第15会年会 (1960)
- (8) R. Castaing & J. Descamps: Journ. de Phys. et Radium,16, 304 (1955)

回州回州回特許の紹介回州回州回

特許 第260543号

小 沢 重 樹

自動制御における操作量遠隔伝送装置

発送電系統において周波数あるいは電力の制御を行う場合調整発 電所より遠隔の地にある給電所に検出部を置き操作量を遠隔の調整 発電所に伝送することが行われる。

本発明はこの場合において検出部で検出した設定値からの偏差を 操作部に伝送し操作部において検出部における偏差を再現させる装 置に関するもので、電圧の影響、抵抗、蓄電器の温度変化による影 響が全くなく、したがって操作量のドリフトを零に保つことができ また周波数平衡式であるので感度が高く確度も高い。

図面によって大体を説明すれば、送量器 T_m においては基準周波 数 f_0 によって充放電される回路 2 に設けたしゅう動抵抗 R_0 のしゅ う動子 5 を操作量検出部 1 によって駆動させるようにし、そのしゅ う動抵抗 R_0 の電圧降下と送量周波数 f によって充放電される回路 3 の抵抗 Rの電圧降下とを比較し、その差によって送量周波数 fを 制御させる。一方受量器 R_{ee} ではその送量器からの周波数 fによっ て充放電される回路 12 に設けた抵抗 R'の電圧降下と基準周波数 f_0 によって充放電される回路 13の可変抵抗 R_0' の電圧降下とを比較 しその差電圧によって平衡電動機 17 およびそれに連結したしゅう 動子 15 と 19 を動かし操作電圧 ± AE が得られる。 (手 島)



