

EOI 形 調 節 計

Type EOI Controller

木 村 尚 一* 小 沢 昇*

Naokazu Kimura Noboru Ozawa

内 容 梗 概

高周波を応用することによって微小変位が容易に検出できることは以前から知られているが、EOI形調節計は可動線輪形指示計に高周波発振回路を組合わせて小形調節計としたものである。このような検出器を利用したことに伴う利点として、指針に接触しないで検出できること、検出に際しての指示値の変化は無視できる程度であること、測定部分の特性は従来の指示計とほとんど変わらないことなどがあげられる。以下に調節計の概要と回路定数と動作特性、検出時に測定部が受ける力の大きさなどについて検討した結果を紹介する。

1. 緒 言

自動制御の分野における最近の動向から、信号の伝達、操作を電氣的に行うことが重要な課題となってきた。自動制御装置の中で、流量、圧力、温度、速度、pHなどの物理量を検出して、油圧、空気圧、電圧などに変換する検出器や変換器が、装置の性能を大きく左右する。

従来の測定装置の多くは測定結果を指針の指示として表示する。すなわち検出した物理量を変位に変換する。したがってこれらの測定装置と組合せて自動制御装置を構成して信号の伝達、操作を電氣的に行うには“変位—電気変換器”が必要な場合が多い。このような変換器がさまざまな場合に適合しうるためには下記のような特性を具有していることが望ましい。

- (1) 微小変位を検知しうること。
- (2) 変位を検出するために被検出体に作用する力が小さいこと。
- (3) 検出速度が大きいこと。
- (4) 変位と変換された電気量との関係が一義的でしかも安定であること。

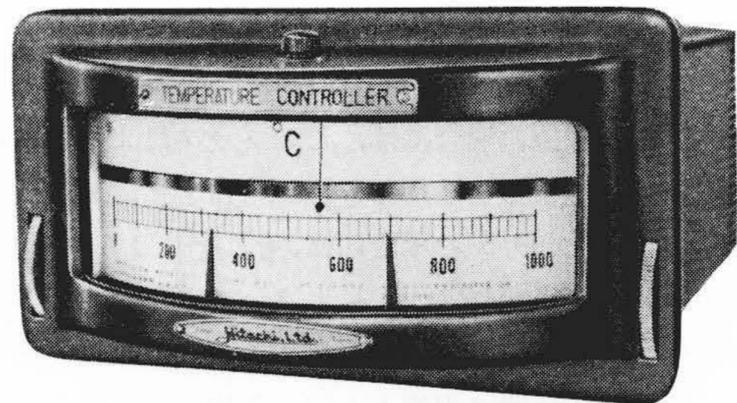
高周波を応用した微小変位の検出、あるいは測定装置などについては従来から種々考案され、発表されているが、これらの装置は上記の(1)、(2)、(3)を容易に満たすことができる。

このような検出方法の一つの応用例であるEOI形調節計は、従来からある可動線輪形計器に高周波発振回路を組合せて、2位置制御、3位置制御、または警報用の計器としたものである。簡単で安価なことを目標として製作したが特性もこの種の用途に対しては十分満足なものである。以下にその概要を紹介する。

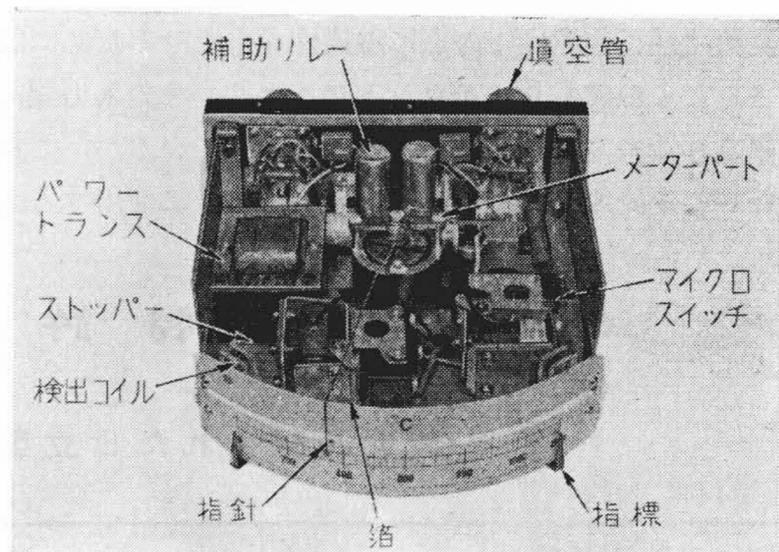
2. 動作と原理の概要

第1図に調節計の外観を、第2図に内部構造を示す。

* 日立製作所多賀工場



第1図 EOI形温度調節計



第2図 EOI形温度調節計の内部構造

真空管は交換および放熱の目的から後部に取り付けた。指示値が指標の示す設定値に比し高いか、低いかによりリレーの接点を開閉して調節を行う。設定指標は計器前面にあるハンドルにより任意の値に設定する。

調節動作は指標に連動した検出コイルのインダクタンスが、指針に取りつけた箔の接近によって減少し電気回路の発振を起動または停止することを利用している。第3図に調節部の原理接続図を示す。双3極真空管12AU7の一方(初段)を発振回路に使用し、他方を増幅に使用して増幅管の陽極電流で補助リレー Ry_1 を駆動する。回路は常時発振しているが、検出コイル Lg に箔が接近して、インダクタンスが減少すると発振が停止する。回路

- I_0 : 表面の電流密度
- d : 表皮作用の深さ (skin depth) (cm)
- ρ : 導体の比抵抗 (Ω/cm^3)
- f : 周波数 (c/s)
- μ : 材料の導磁率 (空気の場合を1とする)

20°Cにおけるアルミニウム ($\rho = 2.62 \mu\Omega/\text{cm}^3$ $\mu \doteq 1$) を例にとると(2)式は次のようになる。

$$d = \frac{8.13}{\sqrt{f}} \text{ (cm)} \dots\dots\dots (3)$$

周波数 25Mc の場合の d の値を計算すると(3)式より

$$d = 0.001626 \text{ cm} \\ = 16.26 \mu \dots\dots\dots (4)$$

となり、これと(1)式を考慮すると深さ x cm までの深さのところに流れる電流の全電流に対する割合 r は次のごとく示される。

$$r = \frac{\int_0^x e^{-\frac{x}{d}} dx}{\int_0^\infty e^{-\frac{x}{d}} dx} = 1 - e^{-\frac{x}{d}} \\ = e^{-\frac{x}{0.001626}} \dots\dots\dots (5)$$

したがって深さ 0.065 mm までに全電流の 98% が集中する。指針に取付けた箔は測定部の機械的強度を多少なりとも損う結果となることから、箔の重量は極力小さくする必要がある。上記の結果からわかるごとく箔の厚みはきわめて薄いもので十分である。また箔の機能はできるだけ多くのフーコー電流を流すのにあることを考え、実際に使用している箔は第6図に示すように電流通路に関係しない部分を削除し、また機械的強度の許す限り薄いものを使用して重量の軽減を計った。

3.2 検出コイルと箔の相互作用

箔中に生ずる誘導電流と検出コイルの電流の間には力が作用しそのために測定値の指示誤差となる可能性があるが、実際には以下に示すごとく計算した結果、きわめて小さい作用力しかなく問題とならない程度である。一般に二つのコイルに作用する力は次式で示される⁽⁴⁾。

$$\delta \mathbf{r} \cdot \mathbf{k} = i_1 \cdot i_2 \delta M \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 i_1 : コイル1の電流

i_2 : コイル2の電流

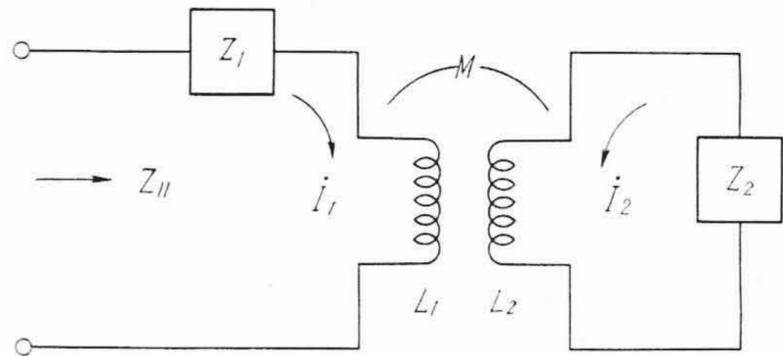
\mathbf{k} : コイル間の作用力

δM : コイル(1または2)が $\delta \mathbf{r}$ だけ微小変位したときの相互インダクタンスの変化量

コイルに交流電流が流れる場合には作用力は刻々変化するがその平均値については(6)式から誘導して(7)式をうる。

$$\delta \mathbf{r} \cdot \bar{\mathbf{k}} = I_1 I_2 \cos \theta \delta M \dots\dots\dots (7)$$

ここに、 $\bar{\mathbf{k}}$: 作用力の平均値



第8図 検出部の等価回路

I_1 : コイル1の電流 (実効値)

I_2 : コイル2の電流 (実効値)

θ : コイル1と2に流れる電流の位相角

検出コイルと箔との関係はほぼ第8図のように書き得る。この回路では次式が成立する。

$$\dot{I}_2 = \frac{j\omega M}{Z_2 + j\omega L_2} \dot{I}_1 \dots\dots\dots (8)$$

$$Z_{11} = j\omega L_1 + Z_1 + \frac{(\omega M)^2}{Z_2 + j\omega L_2} \dots\dots\dots (9)$$

ここに、 Z_{11} : 端子1, 2からみた駆動点インピーダンス

(9)式より

$$\delta M = \frac{Z_2 + j\omega L_2}{2\omega^2 M} \delta Z_{11} \dots\dots\dots (10)$$

(8), (10)式より

$$\delta M \dot{I}_1 \dot{I}_2 = \frac{j\delta Z_{11}}{2\omega} I_1^2 \dots\dots\dots (11)$$

いま

$$Z_{11} = j\omega Lg + R \dots\dots\dots (12)$$

とおくと

$$\delta M \dot{I}_1 \dot{I}_2 = \frac{\delta Lg}{2} \dot{I}_1^2 + \frac{j\delta R}{2\omega} \dot{I}_1^2 \dots\dots\dots (13)$$

$$\therefore \delta M \dot{I}_1 \dot{I}_2 \cos \theta = -\frac{\delta Lg}{2} I_1^2 \dots\dots\dots (14)$$

箔の運動方向に働く力を K とすると

$$K = I_1 I_2 \cos \theta \frac{\partial M}{\partial r} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\partial Lg}{\partial r} I_1^2 \dots\dots\dots (15)$$

(15)式の結果は次のように表現できる。

(1) 箔と検出コイルの間にはコイルの端子に流入する電流 (実効値) の自乗に比例した斥力が作用する。

(2) 比例係数は端子1, 2間からみたインピーダンスの虚数分から求めることができる。

また検出コイルと箔の間には静電容量があり、互に引力として作用し合う。この力は次式のように表わされる。

$$\delta \mathbf{r} \cdot \mathbf{K}_e = \delta \left(\int \int V_c^2 \frac{dC}{2} \right) \dots\dots\dots (16)$$

ここに、 K_c : 静電容量に起因する作用力
 V_c : コイルの微小部分と箔との間に生ずる静電容量 dC にかかる電圧

(16)式の積分はコイル全体に行うものとして右辺は箔が δr 動いた場合に生ずる積分値の変化を表わすものとする。箔の運動方向に働く力を K_c とすると次のようにも表現できる。

$$K_c = \frac{1}{2} \int \int V_c^2 \frac{\partial C}{\partial r} dC \dots\dots\dots (17)$$

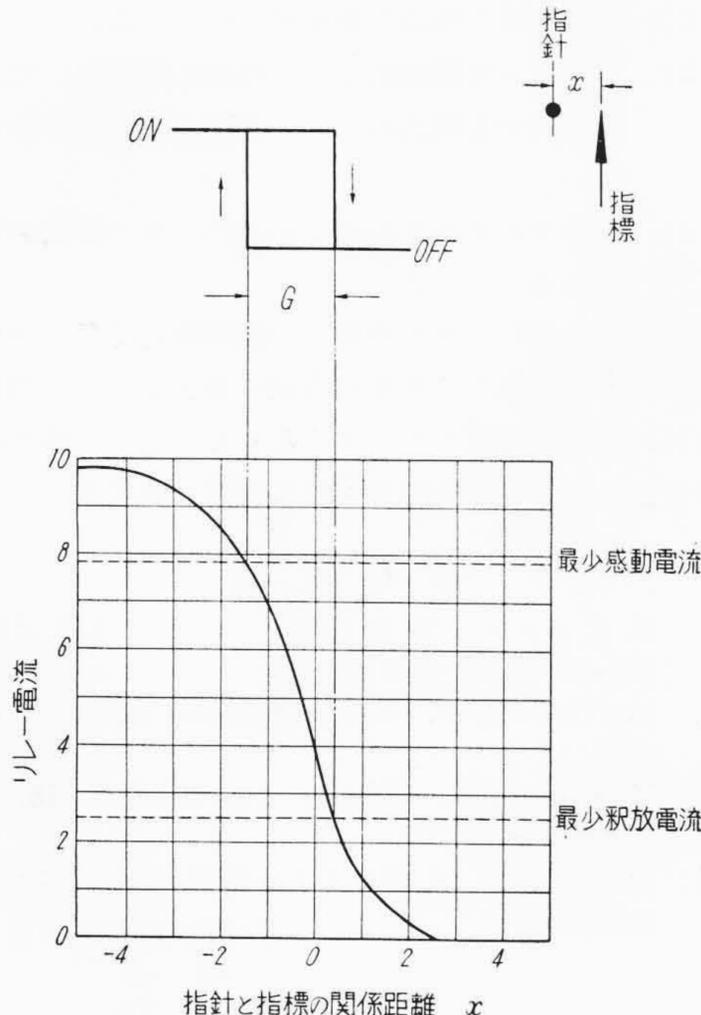
検出部は線形系であることおよび (15), (17) 式から誘導電流による作用力、静電容量に基づく作用力はともに検出コイルにかかる端子電圧の自乗に比例する。この二つの力は互に反対方向に作用し箔の形状または回路の接続を適当にすることにより大きさを等しくして作用力を打消すことができる。たとえば箔の電位を浮かせることによって静電容量は皆無にすることができる。また誘導電流の通路にほとんど関係ない部分の面積を大とすれば静電容量を大とすることもできる。

EOI 調節計についての測定値を基にして計算してみると、 K_c , K とも 10^{-5} dyne 程度である。

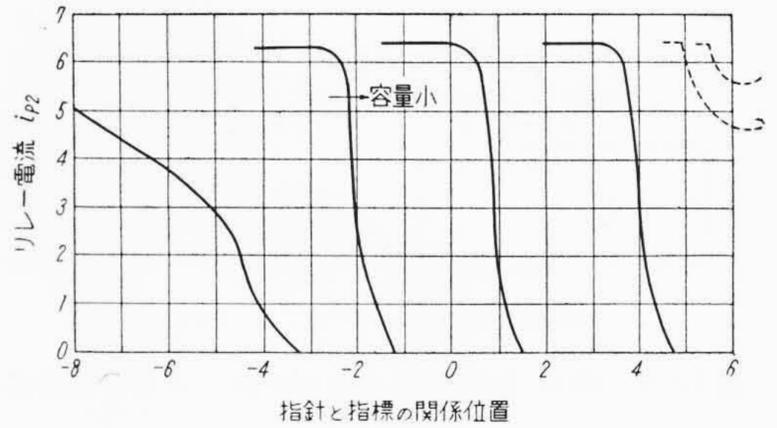
4. 回路定数と調節計の動作特性

4.1 調節計の特性

指針が移動した場合にリレー Ry_1 (第4図) の駆動コイルに流れる電流は第9図のように変化する。図に示し



第9図 指針—指標の関係位置とリレー電流の関係



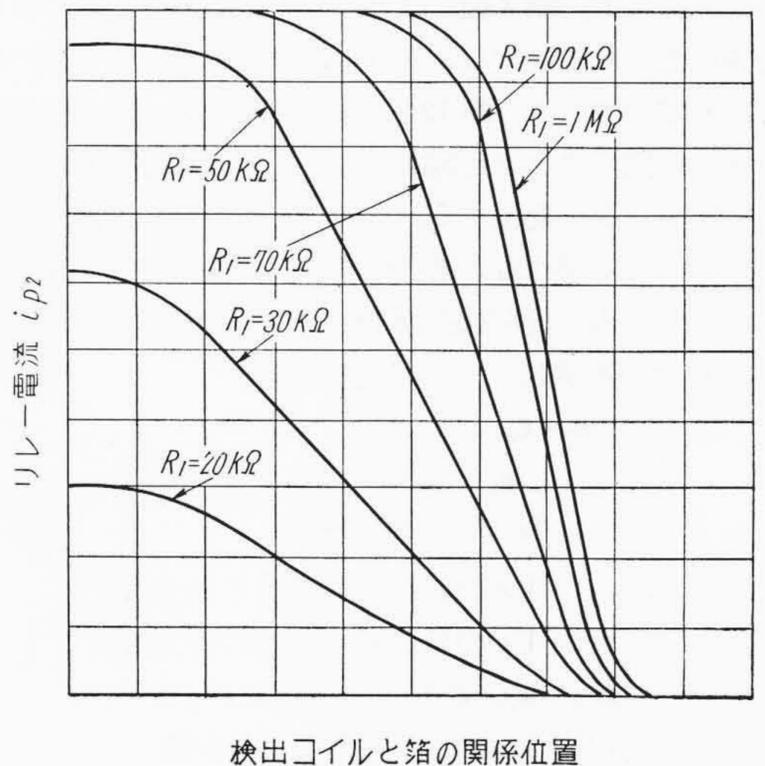
第10図 C_2 の設定によるリレー電流—関係位置特性の移動

た G の値は 2 位置調節の隙間に相当するもので、制御結果に最も大きい影響をもつが製品についての実測値は 0.05~0.15 mm (調節計の目盛長の 0.03~0.1%) である。

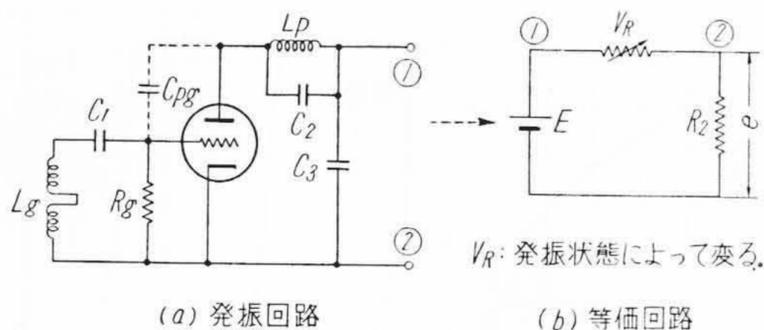
第9図の関係は C_2 (第4図) の容量を変えて第10図のように移動することができ、指針と指標が一致した点でリレーを動作させることが可能である。指針の移動に対するリレー電流の関係は回路定数によって変り、電源電圧の変動、真空管の取換え、回路定数の経年変化、あるいは使用部品のばらつきに対し安定でかつ望ましい値を保持するように選定している。

4.2 発振管のグリッドリーク

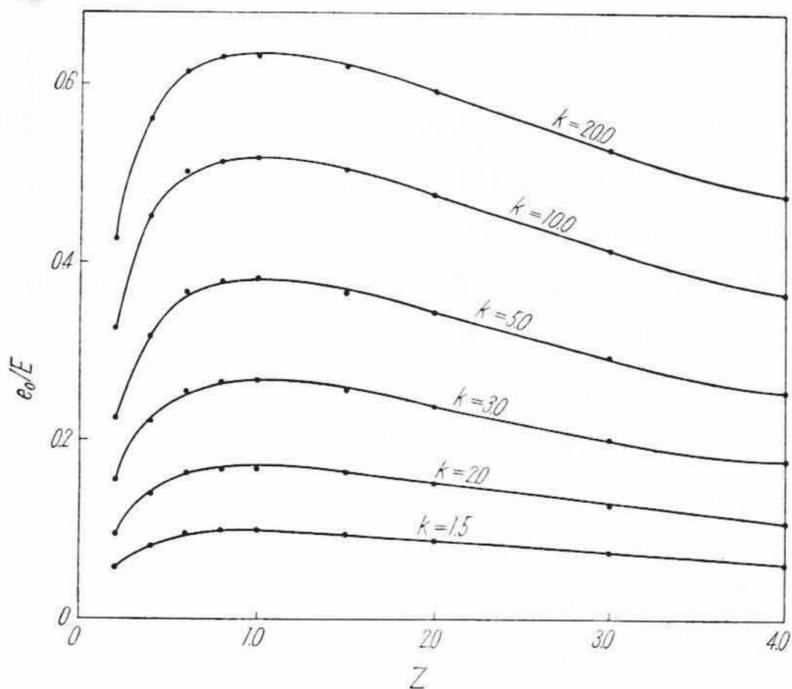
グリッドリーク R_1 (第4図) が過小であると、検出コイルのインダクタンス変化に基づくリレー電流の変化が小さくなる。これはグリッド回路の損失分が増加するためである。逆に抵抗値が過大になると初速度電流によってグリッドの動作点の変動しやすくなり、またブロッキング振動など好ましくない現象を生じやすくなる。第11図は種々の値のグリッドリークを使用した場合の実験例



第11図 発振管グリッドリーク抵抗によるリレー電流—関係位置特性の変化



第12図 EOI形調節計の発振回路とその等価回路



第13図 $\frac{e_0}{E} = \frac{k-1}{1+k+\sqrt{k}\left(Z+\frac{1}{Z}\right)}$ の計算結果

で 100 kΩ 以上にしても特性変化はほとんどなく、この程度では動作点移動も少なくブロッキング振動を起していない。

4.3 負荷抵抗

負荷抵抗 R_2 (第4図) は発振管のプレート電流の変化を電圧変化に変換すると同時に、増幅段のグリッドの動作点を定めている。第12図(a)の端子①, ②からの電圧電流の関係はほぼ比例関係にあり発振状態の変化によって比例係数が変化する。このことから発振回路は同図(b)のように書ける。図中の V_R は発振状態の変化に応じて変化する。負荷抵抗 R_2 の両端に発生する電圧の変化分 e_0 は(18)式によって与えられる。

$$e_0 = e_1 - e_2 = \left(\frac{r_1}{R_2 + r_1} - \frac{r_2}{R_2 + r_2} \right) E \dots\dots\dots (18)$$

- ここに、 e_1 : V_R の値が r_1 のときの出力電圧
- e_2 : V_R の値が r_2 のときの出力電圧
- E : 電源電圧
- r_1 : V_R のとりうる値の最少値

r_2 : V_R のとりうる値の最大値

(18)式を簡略化するために次のようにおく。

$$k = \frac{r_2}{r_1} \dots\dots\dots (19)$$

$$Z = \frac{R_2}{\sqrt{r_1 r_2}} \dots\dots\dots (20)$$

(18), (19), (20) 式より

$$\frac{e_0}{E} = \frac{k-1}{1+k+\sqrt{k}\left(Z+\frac{1}{Z}\right)} \dots\dots\dots (21)$$

(21)式を図示すると第13図のようになる。これより明らかなように負荷抵抗(R_2)は $Z < 1$, より $Z > 1$, の方が抵抗値の変化による出力変動が少ない。また、増幅器の動作点、真空管の非線系のために電圧の影響を受けるなどの事から考えて、EIO形調節計においては $Z > 1$, から定まる負荷抵抗 (R_2) を使用した。

5. 結 言

自動制御装置またはその一部分である工業計器の中において電子管の応用ということがきわめて広汎に行われ、これによって従来きわめて困難だったことが容易に行いうる場合がある。本報告では高周波発振器を変位検出に応用しこれを小形計器と組合せた EOI 形調節計についてその概要を述べた。従来から同様の使用目的で製作されている機械式の調節計に比べて

- (1) 調節動作が時間的に連続である。
- (2) 指針位置の検出が無接触で行いうる。
- (3) したがって機械的な力が指針に働かないで、指針に対する検出のために及ぼす力がきわめて小さい。
- (4) 動作すきまがきわめて小さく、かつ装置が簡単である。

などの特長を有しており今後この種調節計は各方面で使用されるものと思う。本文が各位に多少なりとも御参考になれば筆者の喜びこれにすぐるものはない。終りに製品の改良に尽力された関係各位に謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) F. E. ターマン著 構上銈訳: ラジオ工学 (1) (昭-27 日本放送出版協会)
- (2) Mc. Graw Hill: Radio Designer's Hand-book, 429
- (3) Theodore A. Cohen: Instrument, 18, 228 (April 1945)
- (4) 伊藤徳之助: 応用ベクトル解析, 251(昭-25 丸善出版協会)