

直流大電流用レーザ CT/レーザ・セルシン

D.C. Laser CT/Laser Selsyn

藤 井 陽 一・白 石 敏・浜 口 新

Yoichi FUJII, Satoshi SHIRAIISHI and Arata HAMAGUCHI

1. はじめに

レーザの光を使って、電流の無接触測定を行なうレーザ CT については、すでに著者ら¹⁾によって報告した。

ここでは、このレーザ CT の一つの発展として、直流大電流を正確に、補償法によって計るあたらしいレーザ CT について述べる。この型のレーザ CT は、また角度の変化を無接触原理によって測定することができるので、レーザ・セルシンという名前をつける。

2. 原 理

図1は、このレーザ変流器の原理図である。

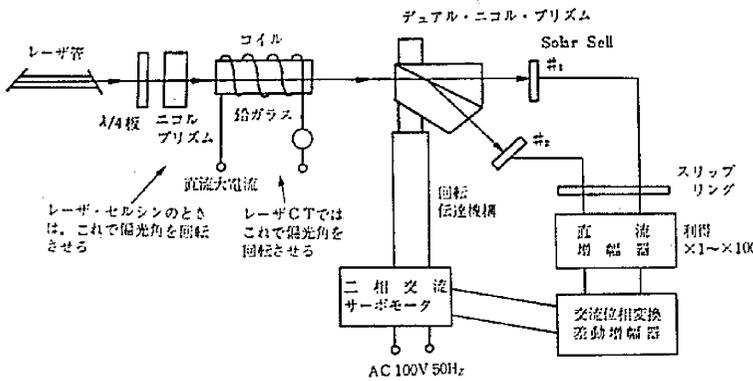


図 1 レーザ CT/レーザ・セルシンの原理図

レーザ光を $\lambda/4$ 板、ニコルプリズムを通し、任意角度の直線偏波にする。レーザ光は、鉛ガラスを通るようにする。鉛ガラスにはコイルが巻かれてあり、これに測定すべき直流電流を流す。レーザ光は、電流によって生ずる磁界によって、その偏光面を回転させる。鉛ガラスで回転したレーザ光は、偏光分析器に送られる。増幅器の出力は、サーボモータの、制御入力として入り、サーボモータの回転角は、偏光面の回転角に比例するようにす

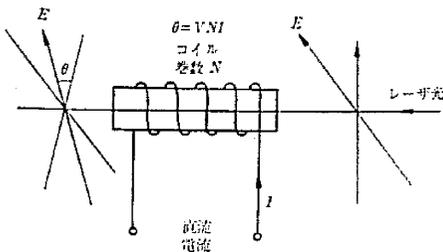


図 2 磁界によるファラデー効果

る。したがってこの回転角のみから測定電流が得られる。図2は、鉛ガラスの直流電流によるファラデー回転を示す。鉛ガラスに巻いたコイルに直流電流を流した場合の偏光面の回転角 θ は、(1)次式で示される。

$$\theta = VNI \tag{1}$$

ただし、 I : 直流電流 [Ampere]

V : 鉛ガラスのベルデ定数 [rad/AT]

N : コイルの巻回数

である。

偏光分析器は、複合偏波プリズムと検出器 (Solarcell)

である。この出力を差動増幅器によって、レーザ光を、分析、増幅する。複合偏波プリズム (Dual Nicol Prism) は、二つの互いに垂直に偏光した光を分離するものである (図3)。

偏波回転角が θ のとき二つの出力電圧 V_1, V_2 は、レーザ入力を P として、

$$V_1 = K_D P \{\sin(45^\circ + \theta)\}^2$$

$$V_2 = K_D P \{\sin(45^\circ - \theta)\}^2 \tag{2}$$

この差を、直流増幅器、位相反転差動増幅器で増幅した後、サーボモータの制御側入力に入り、サーボモ

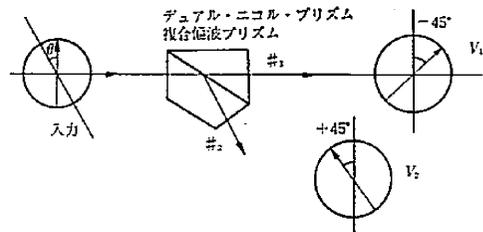


図 3 デュアル・ニコル・プリズムによる偏波回転検出

ータを回転して角 θ が 0 になり、プリズムの回転角が電流値に比例するようになる。

このようにして、偏光プリズムを回していき、回転がゆっくりしていきえすれば、どんなに大きい回転、すなわち電流値にでも、回転角は正確に比例することになる。今まで¹⁾のは、偏光プリズムを固定していたので、比例する範囲は、 $45^\circ \pm 20^\circ$ ぐらいに限られていたので、測定範囲が著しく拡大されたことになる。

研究速報

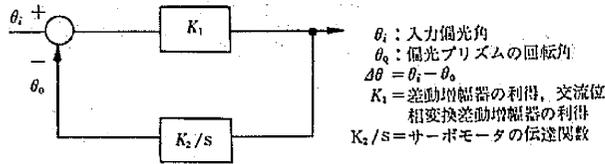


図4 レーザ CT/レーザ・セルシンのサーボ・モデル

このレーザ CT のサーボ機構について述べる。図4は、帰還回路ブロック図である。今レーザ光の偏光角を θ_i とすれば、誤差角度 $\Delta\theta$ は

$$\begin{aligned} \Delta\theta &= \theta_i - \theta_o \\ &= \theta_i \frac{K_1 \cdot K_2 \Delta\theta}{s} \end{aligned} \quad (3)$$

で表わされ

$$K_1 \cdot K_2 = G [\text{sec}^{-1}] \quad (4)$$

$$\Delta\theta = \frac{\theta_i}{1 + G/s} \quad (5)$$

となる。

今サーボモータの始動電圧は、 ΔV とすれば、

$$\Delta V = \Delta\theta \cdot K_1 \quad (6)$$

となる。

ゆえに始動開始電圧誤差

$$\Delta\theta_s = 1/K_2 \cdot \Delta V \quad (7)$$

となる。図5は、サーボモータ回転角 θ_o が、レーザ偏光角 θ_i に達するまでの時間との関係を表わしている。

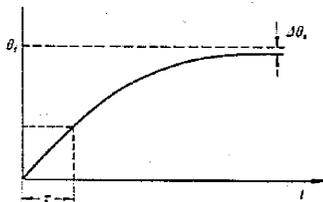


図5 レーザ CT/レーザ・セルシンの応答モデル

いま、 $t \rightarrow \infty$ のとき

$$s \rightarrow 0 \quad (8)$$

ゆえに誤差電圧

$$\Delta\theta \rightarrow 0 \quad (9)$$

時定数 τ は、 $\tau = G^{-1}$

$$(10)$$

となる。

実際には、このほかにサーボモータの慣性率、増幅器の遅れによって応答時間が制限されている。

3. 実験方法

実験においては、レーザ光を偏光させるのに、ニコルプリズムで、偏光角を回転させる(レーザ・セルシン)のと、鉛ガラスにコイルを巻いたもので、偏光させる(レーザ CT) 2 方法を用いた。二つの方法とも光源には、Ne-He 6328 Å のガスレーザを使用した。まずニコ

ルプリズムを用いる方法では、レーザ発振器からの出力ビームを、 $\lambda/4$ 板およびニコルプリズムで任意の直線偏波にし、このビームを複合屈折プリズム面に垂直に入射するようにセットとする。また鉛ガラスを用いての方法は、レーザ発振器からの出力ビームを 15 cm の鉛ガラスの中央を通るようにセットとする。この鉛ガラスには 500 T および 1000 T のコイルが巻かれてある。鉛ガラスから出たビームを複合屈折プリズム面に垂直に入射するようにセットする。

4. 結果

実験は、レーザ CT の特性をニコルプリズムを回転させて、レーザ光を偏光させたとき、および鉛ガラスに巻いたコイルに電流を流して、レーザ光を偏光させたとき、そのそれぞれのレーザ光偏光に対して、複合屈折プリズムがどのくらいの精度で回転し、また、どのくらいの応答時間で反応したかを測定したわけである。ニコルプリズムの回転角度は、 0° を基準として、 $0^\circ \rightarrow 10^\circ$, $0^\circ \rightarrow 20^\circ \dots \dots 0 \rightarrow 90^\circ$ まで行ない、微小角度すなわち、 $0^\circ \rightarrow 10^\circ$ までは、 $0^\circ \rightarrow 1^\circ$, $0^\circ \rightarrow 2^\circ \dots \dots 0^\circ \rightarrow 10^\circ$ まで行なった。鉛ガラスを用いての実験では、主として微小角度の測定を行なったが、コイルに流した電流は、 $0 \rightarrow 1$ [A], $0 \rightarrow 2$ [A] $\dots \dots 0 \rightarrow 10$ [A] まで行なった。複合屈折プリズムの応答時間測定は、コイルにステップ電流を流したとき(または、ニコルプリズムを回転させたとき)の直流、増幅出力をレコーダに結線し、測定した。複合屈折プリズムの回転角度誤差および応答時間測定は、図6の定義により行なった。

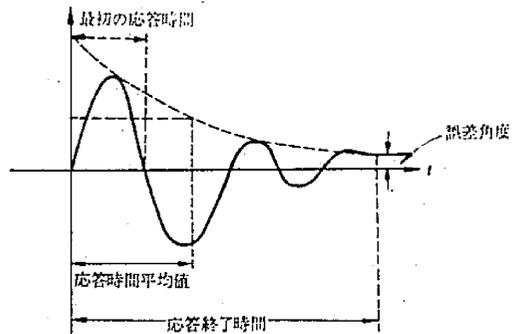


図6 応答時間の定義

実験には、2 種類の交流 2 相サーボモータを使用した。

- 1) モータ回転比 1/8 無負荷回転数 130 [rpm]
- 2) モータ回転比 1/60 無負荷回転数 17 [rpm]

なお2種類のモータの無負荷起動電圧 [max] は、3 [V] である。

図7は、レーザ出力を 0.3 mW 前後にし、ニコルプリズムを回転させたものである。このときモータ回転比は 1/60 を使用している。この程度の出力であれば、直

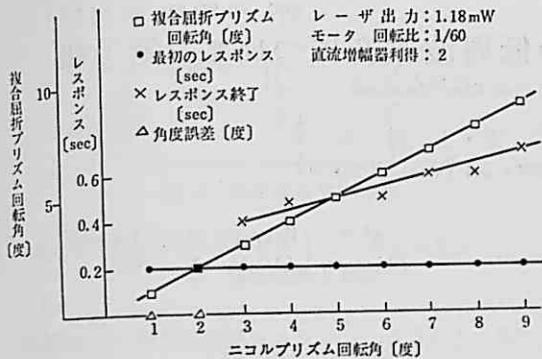


図 7 ニコルプリズム回転角に対する複合屈折プリズム特性

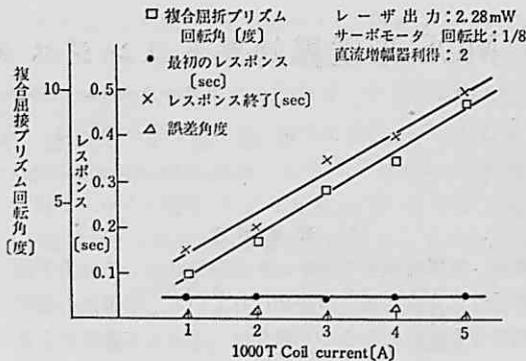


図 9 1,000 T コイル出力特性曲線

流, 増幅器, 利得 5 でも, 角度, 精度はよく, $\pm 1^\circ$ 以内におさえられる。応答時間は, 角度を大きくしていくと, 応答時間が長くなっていく。直流, 増幅器, 利得を変化させても, 最初の応答時間は変化せず, 応答時間は長くなっていく。図 8 は, 上と同じ条件で, 偏光角回転角度を 360° 以上大きくとった時である。回転の伝達装置として, どんな角度でも追従することがわかる。

図 9 は, 1,000 T コイルを使用し, サーボモータは, 回転比 1/8 のものを使用した。電流は, 1~5 A まで変化させたが, レーザ出力が, このくらいの強さであり, 直流, 増幅器, 利得も 2 ぐらいであれば, 最初の応答時間は 0.05 sec と, 非常に早くなっている。しかし角度精度は少し悪くなってくる。

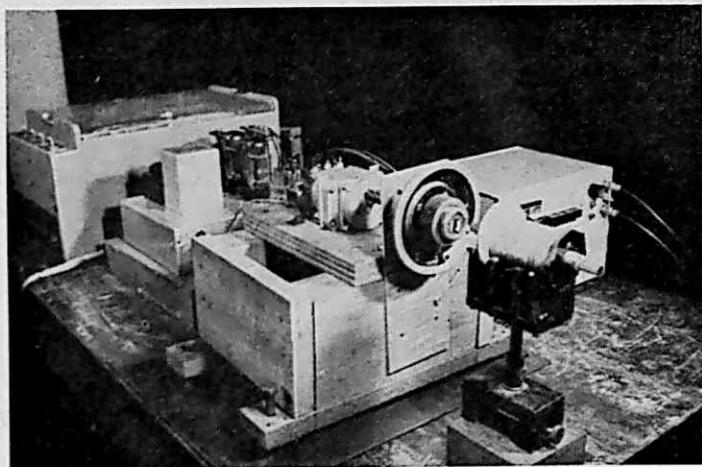


図 10 直線レーザー CT/レーザー・セルシン装置
 写真手前: 1,000 T 電流コイルと鉛ガラス
 写真中: デュアル・ニコル・プリズムを含む回転部分
 写真後: サーボ・モータ
 背景: 増幅器

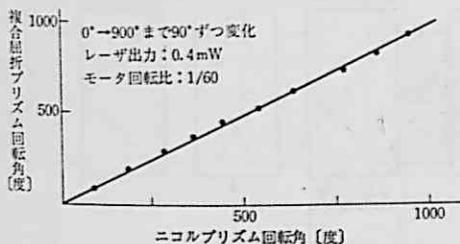


図 8 ニコルプリズム回転角変化による複合屈折プリズム回転角度

6. 結 論

この装置は, 直流の大きい電流の測定装置, あるい

は回転角度の伝達装置として所期の性能を示すことがわかった。この装置は, レーザの光を角度の伝送媒体として使っているので, 遠い所から, あるいは, 接触できない所へでも, 簡単に角度の情報を伝達できる。

終わりに, ご指導をいただいた斎藤, 浜崎教授, 横山助手, ご援助をいただいた東京電力, および東電記念科学研究所の諸氏に感謝する。(1968年3月15日 受理)

文 献

- 1) 斎藤成文, 浜崎裏二, 藤井陽一, 横山幸嗣, 大野豊; レーザを使用した超高压変流器, 生産研究, 19, 8, p. 8~14 (1967. 8).