

磁気テープ多重情報蓄積装置

藤高周平・野村民也・山本尚志

§ 序

磁気テープ録音装置は、記録、再生、消去などが容易に行なえる点で、情報の蓄積媒体として広範な応用分野をもつものであることは、言をまたぬところであろう。特に消去の可能であるところから、エンドレス機構に適切な制御機構を付加することによって、定常的現象の間に偶発的に生起する異常現象を自動的に記録することが可能であり、この種の目的には現在のところ最も好適なものと考えられる。近來、送電電圧の超高圧化に伴い、雷害、開閉等に伴う電力系統の異常電圧の実態を把握することが、系統の適正な設計基準を与える上で非常に重要な課題となっている。そのためには、偶発的現象を自動的に記録できる自動オシログラフによって、広範な資料を集めることが必要であるが、従来のものは機械的振動子による直接記録方式であるため、応答限界が 50 c/s 以下であって、急峻な変化を伴う異常電圧の記録には不十分な点が少なくない。

筆者らは磁気テープ録音の特長を生かして、従来のものより高性能の自動オシログラフの開発を目的として、昭和 32 年以来研究を続けてきた。すなわち、昭和 32 年度および 33 年度には、文部省科学試験研究費の補助により、パイロット・モデルの試作を行なったが、予算上高性能のテープ録音装置を使うことができなかったため、性能もそれに見合う程度に制約されざるをえなかった。昭和 34 年度に至って申請研究課題の一つとして採択され、本格的な装置試作に着手し、当初の目的に合致する性能をもつものがほぼ完成するに至った。本報告はその設計基準、性能などに関するものである。

本装置を電力系統に応用する場合、問題はその保守にある。系統運転中に本装置に専属の要員を配置することが許されないため、装置は相当長期間にわたって、完全に自動的に、しかもその間におこった異常現象をすべて余すところなく記録できる性能が要求される。できればその記録には、日付や時刻も同時に記されていれば申し分がなく、こうなるとこそ初めて完全に自動的なオシログラフということができるであろう。エンドレス機構による偶発現象の記録は 1 回限りのものであるから、どうしてもこれを他の蓄積媒体に移して保存しなければならない。昭和 34 年度に試作した装置は、1 回限りのものであって電力系統の異常現象記録用の自動オシログラフとしてはその意味で不完全である。さらに各方面のご援助をえて、完全な自動オシログラフとして完成させたいと念願する次第である。

§ 1. 録音（記録）方式の決定

情報を磁気テープに記録する方法としては、次のような方法が使われる。

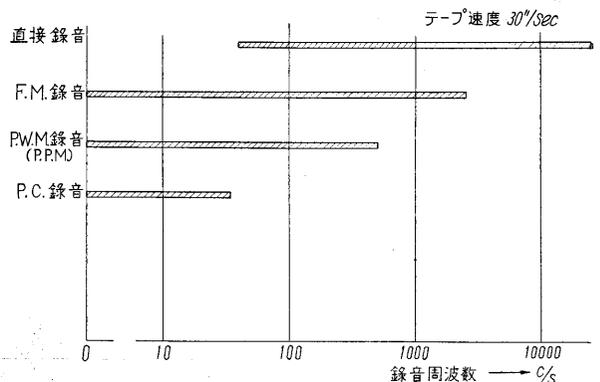
a) **直接録音** これは交流バイアス方式による音声の録音には申し分のないくらいな性能をもっているが、データの記録としては位相特性が悪いこと、変調雑音が大いことおよび直流のレスポンスをもたないことなどの欠点をもっている。

b) **F・M 録音** 搬送波の周波数変調を使用するもので波形歪が少なく、変調歪も少なく、また直流のレスポンスをもっている点ではデータの記録には適しているのであるが、テープ速度の変動が直接に雑音となるので高級な機構が要求される。

c) **パルス録音** 一定周期のパルスの幅を信号で変調する PWM 方式か、位相（位置）を信号で変調する PPM 方式が普通で直線性、波形歪、S/N などはこの方式が最もすぐれている。F・M と違ってテープ速度の変動は雑音の原因になるが、比較的容易に除去することができる特徴があり、またいずれも容易にデジタル信号に変換できるのでデータの処理に適している。

d) **P・C・M 録音** アナログ→デジタル変換器を使って信号電圧をパルス符号に変換して録音するもので、テープにはデジタル信号として記録され、再生のときは D→A 変換器を用いて復調するか、あるいはデジタル信号のままデータ処理に加える。この方式は歪、S/N は録音再生には関係なく誤差などは A→D 変換および D→A 変換できまり最も正確なデータの記録ができるが、現在のところ利用できる周波数帯域がせまいことなどの欠点がある（第 1 図参照）。

本装置は以上の点と使用目的を考慮して、最も適当と思われる PWM 方式を採用することにした。さて PWM されたパルス列は N.R.Z 法 (Non-Return to

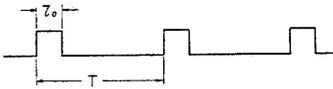


第 1 図 各種録音方式の録音可能周波数帯

Zero) でテープに記録するのであるが、この方法は bit 間のスペースがなく、したがって電流が零になることがなく、いつも正または負に飽和させて行なう法で、新しい情報を記録する場合に、わざわざ前の情報を消す必要がなく Packing-density も一般の方法の約 2 倍くらいとれる利点がある。

§ 2. Channel および Band 幅の決定

a) 最大くり返し周波数および最小パルス幅 パルスくり返し周波数および最小パルス幅は信号帯域幅およびチャンネル数およびテープスピードを決定するもととなるため、これについての理論的考察および実験結果を述べてみる。いま第 2 図のようにパルス幅が τ_0 でくり返し周期が T のパルス列を考える



第 2 図

と、この周波数スペクトラムは

$$V_0(t) = k + 2k \sum_{n=1}^{\infty} \sin n k \pi / m k \pi \cdot \cos m \omega_c t \quad (1)$$

ただし $k = \tau_0 / T$, $\omega_c = 2\pi f_c$, $f_c = 1/T$

で表わされ、これを f_v なる正弦波でパルス位置変調すれば、そのパルス列は

$$V_p(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} k(-1)^n \sin(m + n\omega_v/\omega_c) k \pi / (m + n\omega_v/\omega_c) k \pi \cdot J_n[M(m + n\omega_v/\omega_c) \pi] \times \cos(m\omega_c + n\omega_v)t \quad (2)$$

となる。ここで M は変調指数および変調度に関係した係数、 J_n は第 n 次ベッセル函数を表わす。この式からわかるように f_v なる周波数の正弦波で PPM したパルス列はその信号周波数 f_v 、パルスくり返し周波数 f_c とその高調波 $m f_c$ およびその上下側帯波からなっている。すなわち $m f_c \pm n f_v (n=1, 2, \dots, \infty)$ で表わされるように無限の高調波を含んでいる。したがってパルスくり返し周波数の下側帯波の一部は変調信号の周波帯域内に入ってくる。そのためにこの方式では、低域濾波器を通しただけでは変調信号を分離できず、内部変調歪を伴った出力となる。さて第 (2) 式において ω_v/ω_c は十分小さいから近似的に

$$V_p(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} k(-1)^n \sin m k \pi / (m k \pi) \cdot J_n[M m \pi] \cdot \cos(m\omega_c + n\omega_v)t \quad (3)$$

となる。(1) 式で第 N 次高調波までとった場合のエネルギーは

$$E_{N0} = k^2 \{1 + 4 \sum_{m=1}^N K^2(km\pi)\} \quad (4)$$

ここで $K(km\pi)$ はパルス波形によって定まる定数、また $V_p(t)$ に対して同様に行なえば

$$E_{NP} = k^2 \sum_{m=1}^N 4K^2(km\pi) \quad (5)$$

(4) 式および (5) 式を比較すれば、 $E_{N0} > E_{NP}$ であってパルス幅を考える時には無変調の場合を考えれば十分であることがわかる。同様にして第 2 図を f_v なる正弦波でパルス幅変調した場合を考えそのスペクトラムは

$$V_w(t) = k + M/2 \cdot \cos \omega_v t + \sum_{m=1}^{\infty} \sin m \omega_c / (m \pi) \cdot t - \sum_{m=1}^{\infty} J_0(m \pi M) / (m \pi) \cdot \sin(m \omega_c t - 2m \pi k) - \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=\pm 1}^{\pm \infty} J_n(m \pi M) / (m \pi) \cdot \sin(m \omega_c t + n \omega_v t - 2m \pi k - n \pi \omega_v / 2) \quad (6)$$

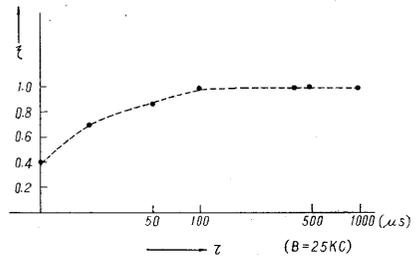
となり、第 1 項は直流分、第 2 項は変調波、第 3 項は ω_c の成分、第 4 項は ω_c の高調波、第 5 項は $m \omega_c \pm n \omega_v$ となって側帯波の成分を示す。この第 5 項が変調周波数帯域にくるもので実際には $\omega_c - n \omega_v$ が問題となる (§ 3 参照)。さて、第 (1) 式にもどって第 N 次高調波までに含まれるエネルギーと全高調波エネルギーの比をとれば

$$\eta = \{1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} K^2(kn\pi)\} / \{1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} K^2(km\pi)\} \quad (7)$$

ここで $k \rightarrow 0$ にすれば

$$\eta_{k \rightarrow 0} \doteq \frac{2}{\pi} \{ \sin(2\pi k \tau) - \sin^2(\pi \tau N / T) / (\pi \tau N / T) \} \quad (8)$$

となってこの関係を図示すれば第 3 図となる。この図でわかるように、 $\tau = 50 \mu s$ くらいから急に η が下がってしまい、この結果は実験からも明らかとなった。その結果を示せば第 1 表および第 4 図、第 5 図となり、ほぼ比例関係にある最小録音パルス幅は、 $50 \mu s$ でその時の出

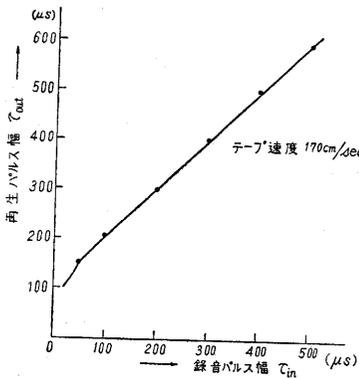


第 3 図 第 8 式での τ と η との関係

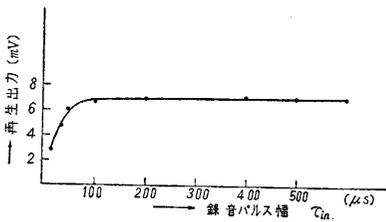
第 1 表 録音パルス幅対再生パルス電圧 およびパルス幅

録音パルス幅	20 μs	40 μs	50 μs	100 μs	200 μs	300 μs	500 μs
再生パルス幅及び電圧	P-P 3 mV 中 100 μs	P-P 5 mV 120 μs	P-P 6.5 mV 150 μs	P-P 7 mV 220 μs	P-P 7 mV 300 μs	P-P 7 mV 400 μs	P-P 7 mV 590 μs

テープ速度 170 cm/sec



第 4 図 録音パルス幅対出力 (再生) パルス幅特性



第 5 図 録音パルス幅対出力電圧特性

力パルス幅は 150 μs となっているから、くり返し周波数は

$$f_0 < 1/150 \text{ (Mc)} \quad (9)$$

となり、また出力パルス幅と入力パルス幅の間には

$$\tau_{out} = \tau_{in} + 100 \text{ (μs)} \quad (10)$$

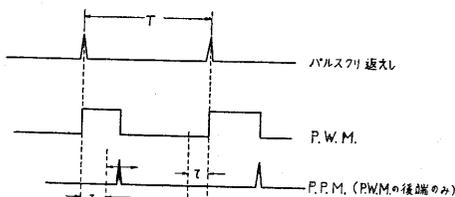
という関係が得られる。

また再生出力電圧の立上がり、立下がり時間は τ_{in} によらないことがわかる。(9) 式より $f_{0(max)} \approx 6 \text{ kc}$ となるからテープの Packing-density (bit/cm) は $d = 6 \times 10^3 / 170 \approx 36 \text{ (bit/cm)}$ となり、あまり良いとはいえないが計測用テープを使用すればさらに上昇するであろう。

b) channel 数およびテープ速度 いままで述べた基礎実験をもとにして、いまテープ速度を L (インチ/sec) Packing-density を d (bit/cm) 変調度を $1/m$ channel 数を N サンプリング周波数を f_s (c/s) として第 6 図のようにパルスの最小接近間隔を τ とすれば

$$\tau = 1/L \cdot (d \times 2.5) \text{ (sec)} \quad (11)$$

$$\text{また } m = T/\tau \quad (12)$$



第 6 図

であるから、

$$T = m/L \cdot (d \times 2.5) \quad (13)$$

$$\text{また } f_s = 1/T \cdot 1/N \quad (14)$$

したがって、

$$L/N = m \cdot f_s / 2.5 \cdot d \quad (15)$$

となる。いま $m = 2.5$, $f_s = 500$ (c/s) $d = 40$ (bit/cm) とすれば、 L/N は 12.5 (インチ/sec) となって、

$$N = 2 \quad \text{とすれば } L = 25 \text{ (インチ/sec)}$$

$$N = 6 \quad \text{〃 } L = 75 \text{ (インチ/sec)}$$

$$N = 12 \quad \text{〃 } L = 150 \text{ (インチ/sec)}$$

となる。したがって本装置に用いるテープ速度は最高 120 (インチ/sec) として、1トラック当たりの channel 数は 8 とした。

§ 3. 変調歪およびクロストーク

a) 変調歪 N channel の PWM のパルス列のスペクトラムは (6) 式を少し変形して

$$\begin{aligned} [V_w(t)]_N = & k/N + M/2N \cdot \cos \omega_0 t + \sum_{m=1}^{\infty} \sin m\omega_0 t \\ & (m\pi) \cdot t - \sum_{m=1}^{\infty} J_0(m\pi M) / (m\pi N) \cdot \\ & \sin(m\omega_0 t / N - 2m\pi k) - \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{B=\pm 1}^{\pm \infty} \\ & J_B(m\pi M) / (m\pi N) \cdot \sin(m\omega_0 t / N \\ & - 2m\pi k - B\pi\omega_0 / 2) \end{aligned} \quad (16)$$

となり、もし $f_0 < f_c/2$ また低域濾波器のシャ断周波数を $f_0/2$ とすれば、 $f_c - f_0$ の項に対して $f_c - 2f_0$ は -30 db また $f_0 - 3f_0$ は -60 db の歪となってほとんど問題にならないことがわかる。

b) クロストーク 隣接 channel におよぼすクロストークは、まず次の channel のパルスの立上がりに入りこむ振幅を考えてそれをパルスの最大傾斜で割って位置的な防害を計算し、次にそれを最大変調したときのパルス幅で割れば得られる。いまパルスの最大間隔を $1/\alpha N f_s$ とすればパルスの立下がり及次の channel のパルスの立上りの最小間隔は

$$t = 1/(\alpha N f_s) \cdot (\alpha - 1) \quad (17)$$

となる。ここで理想的な濾波器を考えてスペクトラムが ω_0 以上では零となり 0 から ω_0 までは 1 であるものとすれば、 $t = 0$ で channel パルスの立下がりの関数は、

$$f(t) = 1 - \int_{-\infty}^t \sin \omega_0 t / \pi t \cdot dt \quad (18)$$

となって $t > 1/f_0$ での振動の減衰はほぼ

$$0.29/\omega_0 t = 0.29/2\pi k_0 N f_s t \quad (19)$$

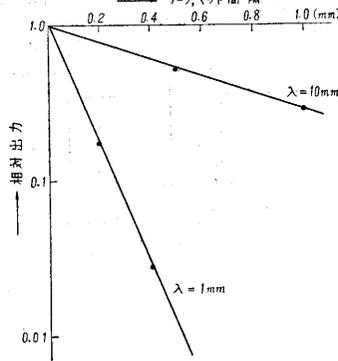
で表わすようになる。ここで

$$k_0 = \omega_0 / 2\pi N f_s \quad (20)$$

(19) 式に (17) 式を代入して次の channel パルスの立上がりに対する最大振幅防害を求めれば

$$0.29/\omega_0 t = 0.29/2\pi k_0 (\alpha - 1) \quad (21)$$

あって、計測用のテープはコーティングの方法が改善されたためである。このほかに再生ヘッドとテープとの接触間隔のへだたりの変動によって生ずるドロップアウトがあり、これはヘッドの機構およびテープの張力によってきまる。一般に $-54 \text{ db}/\lambda$ (ただし λ は正弦波録音の場合正弦波の λ と等しいテープ、ヘッド間の間隔とされているが第9図にその1例を示す。



第9図 テープとヘッド
間隔対出力

§7. 構成

以上述べたような結果をもとにして、次のような設計仕様をたてた。

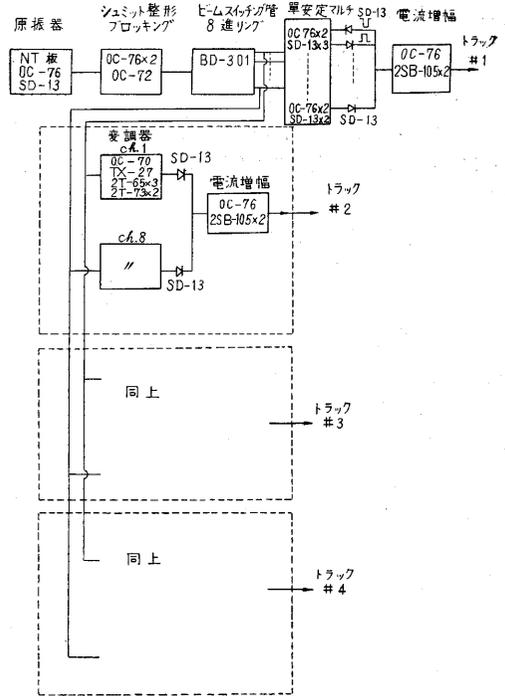
(ただしチャンネルを複合して最高 1.6 kc/s にすることができる)

- channel 帯域幅: 200 cs 1トラック当たりの channel 数: 8
- サンプル周波数: 500 c/s パルスくり返し: 4 kc/s
- パルス幅最小: 75 μ s 最大: 175 μ s
- 変調方式: パルス幅変調

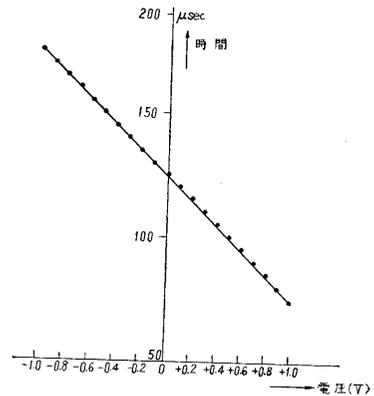
またテープ録音器の仕様は、次のようなものである。

- 方式: エンドレス テープ速度: 120'', 60'', 20'', 15''
- テープ全長: 60'' トラック数: 4 (うち三つは情報記録用, 一つは周期信号録音用)

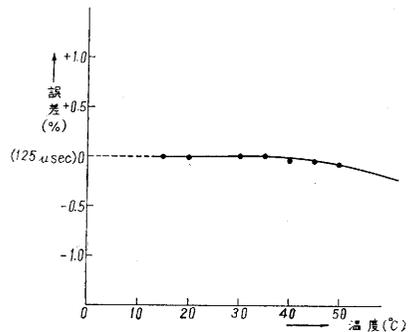
変調、録音装置の構成の系統図は、第10図に示す通りであって、仕様の目的から消費電力小、また軽量小型であることが要求されるため回路の全部にトランジスタを使用することにした。原振器は NT 板の水晶発振器でこれをシュミット回路を通して、整形微分して 4 kc のパルスを生じさせ、これをブロッキングに加えてビームスイッチング管を動作させて 8 ch 分の基準パルスを作っている。幅変調器は、自然標本化による鋸歯状波比較方式によるもので、要所にバリスタを入れて温度補償を行なわせている。変調特性を第11図に、また温度特性を第12図に示す。直線性は 0.5% 以内である。また同時にビームスイッチング管の出力は同期信号用の単安定マルチに加えその出力を ch 1 のみ位相を逆にして、それぞれダイオードを介して加えられ、さらに電流増幅してテープ録音機の一つのトラックに録音される。幅変調された出力も同期信号同様にダイオードを介して



第10図 変調、録音、装置



第11図 変調特性 (電圧対幅特性)



第12図 温度対幅変化特性

加えられ電流増幅されて、他のトラックに記録される。

復調、記録装置の構成を第 13 図に示す。同期信号再生出力を約 50 db くらいに増幅してクリップ回路に加え、整形してフリップフロップに加える。同時に他のトラックの再生出力もクリップ回路を通して整形され、先のフリップフロップの出力とともにアンドゲートに加えられる。ch 1 のフリップフロップは負のパルスで反転するようにしているため、各 ch の信号は必ずその ch のゲートを通ることになる。ゲート回路の出力は再

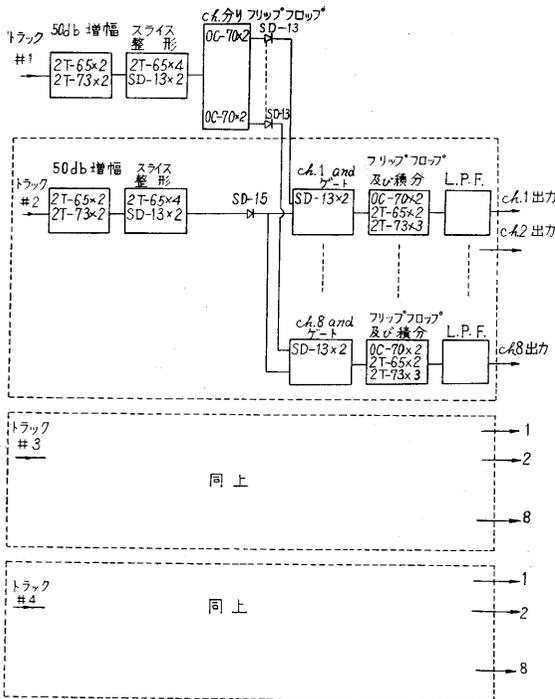
び幅に変換されて、さらにこれをブートス、トラップ回路で積分し、信号に比例した振幅のパルスにし、これを遮断周波数 200 c/s の低域濾波器を通して復調している。

§ 結 言

本装置は、以上のように時分割方式で 8 ch とし、さらにそれがおのおの三つのトラックとも同様な方法で行なうことから、全体としては、24 ch の現象が同時に記録できるわけでこの点ではほとんど完全であると考えられる。また復調方式が無定形であるため、テープ再生速度を任意に変更できる。ペン書きオシログラフのようにレスポンスの制限のある記録装置を使うことも可能になる。さらに今後の研究としては、被記録現象の発生によって、他の巻取形のテープを動かしエンドレスに記録された現象を移し、記録を蓄積しておいて、くり返しておこった偶発現象の記録を行ない得るようにすること、および幅に復調された信号をデジタルに変換する装置を作り、データ処理を容易に行ない得るようにすることなどが主な目的である。現在これらの研究も続行中であり、これらについては別に改めて報告したいと考えている。なお本研究には本年 4 月以来坂本君の補助を受けていることを付記する。(1960. 6. 15)

文 献

- (1) Black: "Modulation, Theory"
- (2) Nichols and Rahch: "Radio Telemetry"
- (3) W. Jackson: "Communication Theory"
- (4) L. Weisman: "Telemetry Demodulator using AND gate" Electronics, February 20, 1959.
- (5) 藤高, 野村, 田代, 山本: "磁気テープ録音式多重情報蓄積装置" 生産研究 Vol. 10. No. 5.
- (6) 藤高, 野村, 田代, 山本: "多チャンネル磁気録音式情報蓄積装置" 1958 年電気学会 東京支部大会論文集 40.
- (7) 山本: "磁気テープのパルス録音特性について" 東京大学生産技術研究所電気談話会報告 Vol. 11. No. 12.



第 13 図 復 調, 記 録 装 置

次 号 予 告 (10 月 号)

— 製 鉄 技 術 特 集 号 —

特 集

製鉄技術の現状と大学における製鉄研究	金 森 九 郎
1 トン試験高炉の設備について	和 泉 沢 信
ラテライト処理の研究	中 根 千 富
三池コークス配合試験について	金 鉄 祐
含チタン焼結配合試験について	鈴 木 吉 哉
高アルミナ鉱石使用試験について	館 充
還元性ガス吹込試験について	館 充
粉体吹込試験	和 泉 沢 信
鉄鉱石の還元機構	雀 部 高 雄
スラグの研究	松 下 幸 雄
最近の直接製鉄法	原 善 四 郎

座 談 会

1 トン試験高炉の回顧と展望	金 森 ほ か
----------------	---------