

資料

デジタル用磁気テープの性能†

飯田 明敏†† 二宮 肇†† 垣崎 博雅††

1. まえがき

磁気ドラムや磁気ディスクに比べて磁気テープの歴史は古い。1890年代の後半には鋼鉄線に記録する方法が発明され、鋼帯へと発展した。1930年代には紙やプラスチックのベース材へ、強磁性体の微粉末を塗布したものとして、現在使用されている磁気テープの原形が現われた。これらはまだアナログ信号の記録用であったが、1950年頃からはじまった電子計算機の発展に伴い、デジタル信号の記録用としても急速に伸びてきた。

現在、最も多く使われているデジタル用電子計算機の磁気テープは12.5mm幅である。この他に最近ではミニコンピュータ用やデータ収集用として3.81mm幅のカセット・テープも使用されているが、ここでは前者について調査した結果を報告する。

なお、本調査の目的は、次の3点にある。

- (1) 情報誤り数の磁気テープ種類による差、および走行回数に対する情報誤りの発生形態。
- (2) 2.2項の各種特性と情報誤りの間の関係。
- (3) 磁気テープと磁気テープ装置との間には、従来『相性』があるといわれていたが、その事実の確認。

2. 調査方法

テープ走行系などの機構の異なる4台の磁気テープ装置を使用し、11種類の磁気テープ363巻（1種類当り33巻）について、次に示す試験項目および方法により調査した。テープは、すべて長さが約730mで記録密度800RPI、9TRACK用のものである。なお、記録方式はNRZIを用いた。これらの試験内容はJIS C 6240『情報交換用磁気テープ』（以下JISと呼ぶ）に準じている。

2.1 情報誤り試験

† Characteristics of Magnetic Tape for Digital Record by Aki-toshi IIDA, Hajime NINOMIYA and Hiromasa KAKIZAKI (Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation)

†† 日本電信電話公社データ通信本部

情報誤り試験に使用した試験器の構成をFig. 1に示す。試験器で検出された情報誤りは、その都度ペンレコーダで記録される。

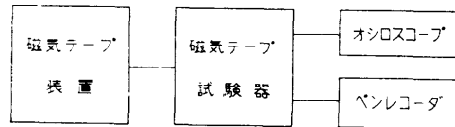


Fig. 1 試験器の構成

2.1.1 初期性能

初期性能として、JISで規定されている欠陥箇所の数（3.1項参照）をテープ全長にわたって測定した。情報信号を検出するためのクリッピング・レベルは、ドロップアウトで標準出力の50%、ドロップインで10%に設定した。すなわち、書込んだ信号の出力が規定出力の50%に満たない場合がドロップアウトであり、書込んである信号を消失したにもかかわらず10%を越える出力のあった場合がドロップインであり、両者とも情報誤りとしてカウントされる。

2.1.2 耐久性

テープの耐久性を調査する目的で、連続書込試験と連続読出試験を行なった。連続書込試験とはテープ全長（730m）にバイナリですべて“1”の情報（1ブロック当り2000列のブロックされた情報）を書込みながら読出して、書込み時の誤り発生状況を調査するための試験である。クリッピング・レベルを標準出力の50%に設定し150~200回（JISの規定では100回）くり返し連続走行させ、書込み誤り数を記録した。連続読出試験とは25ブロック（テープ長にして約2mで1ブロック当り2000列のすべて“1”のバイナリ情報）の書込み誤りのない情報を4万回連続くり返して読出し、読出し時の誤り発生状況を調査する試験である。クリッピング・レベルは標準出力の35%に設定した。両者ともテープ1巻の規定回数の連続走行が終了するまで走行系の清掃は行なわない。

2.2 物理的特性等

前記 2.1 項の情報誤りに、直接または間接的に影響を与える要因として次の項目を調査した。

- (a) 物理的特性,
- (b) 出力レベル,
- (c) 起動時間, 停止時間,
- (d) ダイナミック・スキュー,
- (e) ヘッドの摩耗,
- (f) 汚れの状況.

物理的特性とはテープの厚さ、表面固有抵抗、残留磁束などであり詳細は 3.4 項で述べる。

出力レベルは、テープの初期時における測定と、連続書込試験および連続読出試験の試験前と後の比較である。

情報をブロック書きするとき、またはこのように書込まれた情報を読み出すとき、テープはその 1 つのブロックごとに起動、定常走行および停止をくり返しながら走行する。そこで起動命令が与えられてから、テープの走行速度が定常速度の 95% に達するまでを起動時間、停止命令が与えられてから静止するまでを停止時間として、これらの時間を測定した。

ダイナミック・スキューとは同一の列に含まれる 2 つのトラックの 2 ビット間における、テープの長手方向の距離の変動幅である。テープ形状に影響される最大のダイナミック・スキューは 1 トラックと 9 トラック間で生じると考えられる。そこで 1 トラックを基準として 9 トラックのダイナミック・スキューを測定した。

ヘッドの摩耗には、黄銅（真ちゅう）の丸棒（面粗さ 0.2μ ）を擬似ヘッドとして使用し、730 m のテープを 300 回走行させた後の摩耗量を 11 種類のテープについて測定した。さらに、その中で最もヘッド摩耗量の大きなテープをとり上げ、実用ヘッドを用いて長時間走行させた場合の摩耗状態と情報誤りの関係を調べた。

汚れの状況とは、連続書込み試験および連続読出試験中にテープの磁性面およびベース面から発生する微粉による走行系（ヘッド付近）の汚れと情報誤りの関係について調査したものである。

3. 結果および考察

3.1 初期性能

JIS では『相連続する 3 回の試験において、いずれの回においてもドロップアウトまたはドロップインの発生した箇所を欠陥箇所』といい、『初期（製造販売

時）において 1 巻中 3 個を越える欠陥箇所があつてはならない』と規定している。この初期性能についてテープ 1 種類当り 12 巻（合計 132 巻）調査した。この中、欠陥箇所が 1 巻中 3 個以下のものはドロップアウトで 65%、ドロップインで 97% である。なお種類別の性能の一部は Table 1 に示すとおりである。

また溶剤（アセトン、酢酸エチル、メチルエチルケトン、トルエンのそれぞれの液）に対して磁性面が溶けやすいテープと溶けにくいテープがあり、次の三つに分けられる。

(1) 溶…テープを溶剤にひたして振るだけで、磁性面が微粉状に分離するもの。

(2) 半溶…溶剤にひたすと磁性面とベース面が 2 枚のテープ状にはがれるものと、溶剤にひたしただけでははがれないが、こするとはがれるもの。

(3) 不溶…溶剤にひたして、強くこすってもはがれないもの。

これらの溶剤に対する性質とドロップアウトの関係を図 2 に示す。不溶のテープはドロップアウト数

Table 1 初期性能

項目	ドロップ・アウト	ドロップ・イン
良群の 1 例	$\frac{12}{12}$ (100)	$\frac{12}{12}$ (100)
中間群の 1 例	$\frac{7}{12}$ (58)	$\frac{11}{12}$ (92)
不良群の 1 例	$\frac{2}{12}$ (17)	$\frac{12}{12}$ (100)

12 巻調査した中の良品数 (%)。

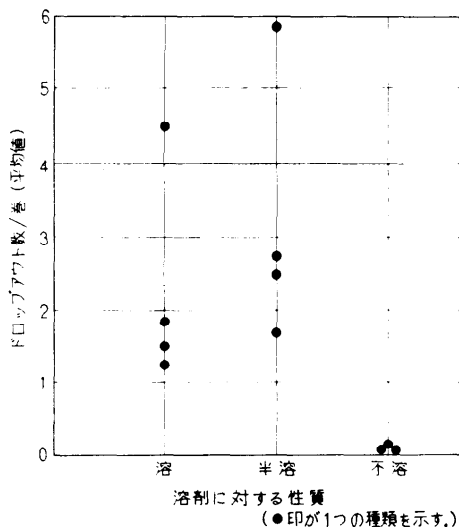


Fig. 2 溶解性と初期のドロップアウト

が非常に少ない。

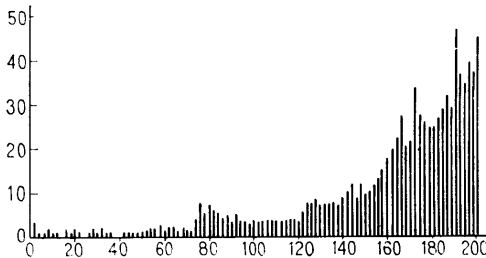
3.2 連続書込試験

JISの規定によると連続書込試験で発生を許される情報誤り数は1走行当り平均3個、最大10個となっている。そこで、この試験における100回走行間のテープ1巻、1走行当りの平均および最大書込み誤り数の1例をTable 1に示す。ただし、JISの規定では

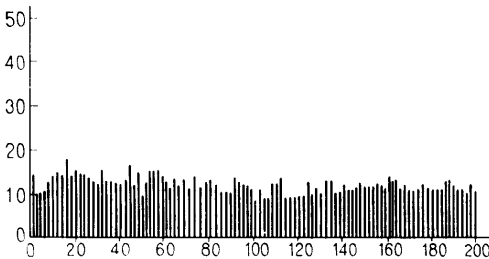
Table 2 連続書込試験

区分	試験回数			
	1	2	3	4
良群の1例	0.1	1.7	0.8	0.2
	1	6	4	5
中間群の1例	2.1	4.7	4.7	6.6
	4	22	30	27
不良群の1例	情報誤り多発のため計数不可能			

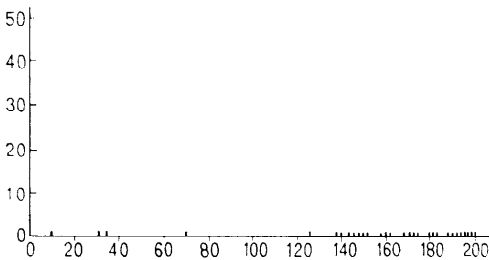
上段：平均誤り数/走行 下段：最大誤り数/走行



(a) 増加傾向を示す1例



(b) ほぼ一定の1例



(c) ほとんど発生しない1例

Fig. 3 情報誤りの発生形態

出力レベルが標準出力の40%未満となった場合を情報誤りとしているのに対し、本試験では50%未満としたので当然誤り発生数は多くっており、その差には留意しなければならない。

書込み情報誤りの発生状況はFig. 3に示す三形態に分類される。同図(a)は走行回数が増えるに従い情報誤り数も増えるもの、(b)は走行回数に関係なくほぼ一定数の情報誤りが発生するもの、(c)はほとんど情報誤りの発生しないものである。同一種類のテープは同一装置ではほぼ同一形態を示すが、装置が異なると発生形態が変わる。

なお書込み誤り数に対しテープ種類、磁気テープ装置の種別、装置の状態(1台の磁気テープ装置を3カ月間連続使用したのでヘッドの摩耗が進行する。この摩耗が情報誤りに影響を与えるかどうか調べるため)およびこれらの交互作用のうち、どの要因が効いているかを調べるためTable 3に示すような分散分析を行なった結果、テープ種類が5%危険率で有意差(寄与率18%)があり、他の要因については有意差がなかった。

また連続書込試験における1走行当りの平均誤り数と表面固有抵抗および溶剤に対する性質の関係をグラ

Table 3 連続書込み試験分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	寄与率%
A	40960	4	10240	3.32*	18.44
B	10880	2	5443	1.76	
C	8882	2	4441	1.44	
A×B	19151	8	2394	0.78	
A×C	10413	8	1302	0.42	
B×C	15524	4	3881	1.26	
e	49381	16	3086	—	

(注) A...テープ銘柄 B...磁気テープ装置 C...装置の状態
e...誤差 *...5%危険率で有意差がある。

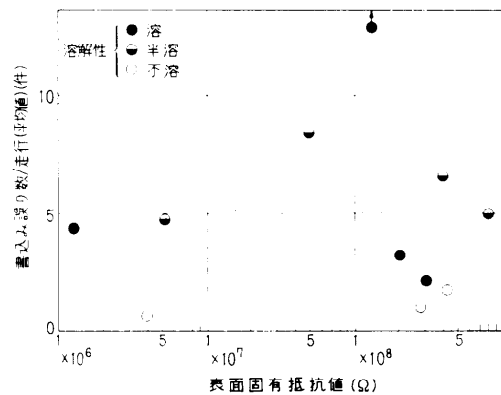


Fig. 4 書込み誤り数と表面固有抵抗, 溶解性

フ化したものを Fig. 4 に示す. この誤り数と表面固有抵抗の大小の間には規則性がみられないが, 溶剤に溶けにくいテープは一般に情報誤りも少ない.

3.3 連続読出試験

JIS によると, 連続読出試験では『4万回走行終了までに, 同一箇所をくり返し読出すこと100回におよんでも, なお回復しない箇所が1箇所も発生してはならない』と規定されている. 今回の連続読出試験では試験装置の性能上, 情報誤りが連続して同一箇所に発生したことを判定するのが困難なので, 情報誤りが多発しはじめるまでの走行回数を調査した. その結果の1例を Table 4 に示す.

この試験においても連続書込試験と同様の要因について分散分析を行なった結果, Table 5 に示すようにテープ種類が1%危険率(寄与率29%), 磁気テープ装置の種別が5%危険率(寄与率8%)で有意差があった.

なお, 本試験中にテープ走行が異常となる事故が数回発生した. 事故の内容および原因は次に述べる通りである.

テープがキャプスタンに巻きついたり, 走行系路からとび出すという事故である. シングル・キャプスタンの磁気テープ装置を使用して, 磁気テープ(約2m)を4万回連続くり返して読出している途中で発生した.

これは, 磁気テープの帯電が大きく真空槽壁に吸引され, 接着した状態となり走行が滑らかに行なわれな

Table 4 連続読出試験

試験回数	1	2	3	4
区分				
良群の1例	—	—	—	—
中間群の1例	—	2.7	2.1	2.6
不良群の1例	2.0	0.3	0.3	3.0

・数字は誤りが多発するまでの走行回数(万回).
 ・—印は4万回走行しても誤りが多発しないもの.

Table 5 連続読出し試験分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	寄与率%
A	8613	4	2153	6.05**	29.69
B	2767	2	1384	3.89*	8.49
C	521	2	261	0.73	
A×B	1785	8	223	0.63	
A×C	4286	8	536	1.51	
B×C	545	4	156	0.38	
e	5697	16	356	—	

(注) A…テープ銘柄 B…磁気テープ装置 C…装置の状態
 e…誤差 *…5%危険率で有意差がある.
 **…1%危険率で有意差がある.

いたためであって, 表面固有抵抗が大きく, 曲げ剛性の小さいテープにおいて発生した.

3.4 物理的特性

磁気テープ11種類間には Table 6 に示すような特性のばらつきがみられる.

Table 6 物理的特性

項目	単位	測定値	平均値	
テープ厚	全厚	μ	47.0~51.1	49
	磁性面	μ	9.0~13.4	11
表面固有抵抗		Ω	1.3×10 ⁶ ~750.0×10 ⁶	230×10 ⁶
残留磁束	Max		0.789~1.503	0.880
抗磁力	Oe		260~294	275
摩擦係数(対真ちゅう)	磁性面	—	0.206~0.360	0.259
	ベース面	—	0.100~0.201	0.145
ヤング率	g/mm ²		3.93×10 ⁶ ~5.13×10 ⁶	4.55×10 ⁶

3.5 出力レベル

出力レベルが極端に低いとドロップアウトが多くなるし, 高すぎると雑音により誤情報が発生する. これは全供試テープの平均値を100とした場合, 11種類では91~107の範囲内にある.

連続書込試験前後の出力レベル変動は, そのテープの試験前の出力を基準として表わすと10種類では0.8~7.4%の範囲にあり, 他の1種類は特に大きく48.5%である. 連続読出試験では11種類が2.5~27.0%の範囲にある.

3.6 起動時間, 停止時間

起動時間, 停止時間を磁気テープ装置別に平均して, これを100とし, 11種類間のばらつきを装置別に示したものが Table 7 である. その変動幅は装置によって大きな差が認められる. この起動時間, 停止時間は情報誤りに影響を与えていないし, また摩擦係数に左右されていない. ただし, ある特定の磁気テープ装置において, ベース面の摩擦係数が試料中で最も小さい種類のテープを用いると, 規格値を20%も越えるものがあった. すなわち磁気テープ装置とテープとの間には若干危険性を伴った組合せが存在することになる.

Table 7 起動時間, 停止時間

磁気テープ装置の種別	A	B	C	D	
起動時間	範囲	92~108	88~123	96~107	71~135
	変動幅	16	35	11	64
停止時間	範囲	未測定	91~119	89~107	79~126
	変動幅	—	28	18	47

3.7 ダイナミック・スキュー

種類別に1巻のテープを選び、この1巻のテープを異なる4台の磁気テープ装置にかけて測定した結果、ダイナミック・スキューの小さい順序に各種類を並べると Fig. 5 に示すとおり各装置において順不同である。この順序のばらつきには装置の走行系が大きく影

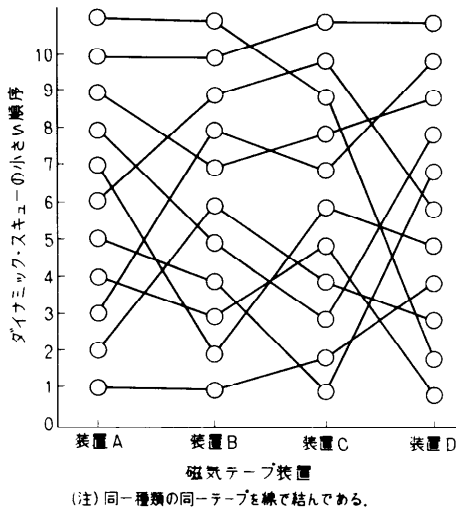


Fig. 5 装置別のダイナミック・スキュー順序

響していると考えられる。そこで装置のテープ・ガイドの間隔とテープエッジのうねりの周期がダイナミック・スキューにおよぼしている影響を調査したところ磁気テープ11種類と磁気テープ装置4台において（ガイド間隔/うねりの周期）はすべて0.5以下であり、この装置のうち0.5に近いものほどテープ11種類間におけるダイナミック・スキューのばらつきは大きかった。しかし、どの種類のテープも各装置のスキューの許容値を充分満足している。

3.8 ヘッドの摩耗

テープの硬さを知る1つの目安を得るため、テープを擬似ヘッド上で走行させた場合のヘッド摩耗量を測定した。その結果、11種類全体については6~25 μ の範囲内であった。この中より摩耗量が最大のテープを選び、磁気テープ装置に装着して、実用のヘッドの摩耗状態と情報誤りの発生を調べた。Fig. 6 (a) は実用のヘッドがテープとの接触によって摩耗する進行状況をみたものである。またこの部分を1000倍に拡大して摩耗量の最大部分と最小部分の凸凹の落差を観測したところ、初期（新品）に2 μ であったものが走行回数7000回ぐらまでは次第に大きくなり12 μ となった。以後は徐々に平滑化され1万回の走行を終

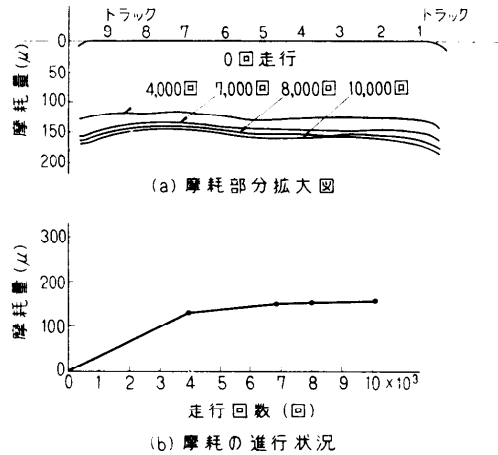


Fig. 6 ヘッド摩耗試験

了した時の落差は1 μ であった。次に摩耗量と走行回数との関係を同図(b)に示す。これらによると摩耗の進行は、ある時点まで急激に進むが、それ以後は鈍化することがわかる。ヘッドの摩耗に伴う情報誤りの増加は特に認められなかった。1万回走行の間で試料テープを取り替えたのは1回目、7000回目、9500回目であり、これらはすべて同一種類である。しかし、この摩耗したヘッドに他の種類のテープを掛けると情報誤りが多発するものもある。

3.9 汚れの状況

極端に微粉の発生量の多い数種のテープは情報誤りも多いが、他のテープでは微粉量と情報誤り数の間に比例関係は認められない。

3.10 まとめ

今回の試験結果から次のことがいえる。

- (1) 磁気テープの種類は、磁気テープの性能に対して有意差がある。
- (2) 連続読出試験における磁気テープ装置のちがいは情報誤りに対して有意差があり、連続書込試験においては有意差がない。
- (3) 磁気テープと磁気テープ装置の間には、一般にいわれている相性は認められない。すなわち、ある磁気テープ装置で試験結果の良好なテープは、他のどの装置においても良好なグループに属した。
- (4) 磁気テープの物理的特性と情報誤りの間には影響が認められない。
- (5) 出力レベル、起動時間、停止時間、ダイナミック・スキューと情報誤りの間、および起動時間、停止時間と摩擦係数の間にも影響は認められない。

この結果から、一般に各特性と情報誤りの間に何の関係もないと結論づけるのは早計であり、今回の調査で用いた材料の特性のばらつきの範囲内に限ったことであって、この範囲を大幅に越えれば危険性があることは、次の点からも明らかである。

(1) ベース面摩擦係数が最小のテープにおいて、起動時間が規定値を 20% も越えたものがある。

(2) 表面固有抵抗が大きく、曲げ剛性の小さいテープが、4 万回走行途中で走行に異常をきたした。

(3) テープ面から微粉が多量に発生するものは情報誤りも多発した。

4. むすび

電子計算機を運用する場合、磁気テープに起因する情報誤りや、それに伴う再試行を極力少なくしなければならぬ。このことはバッチ処理に比較してオンライン処理では、なお一層重要な課題である。その意味

で、本調査はテープの絶対的性能よりも、むしろ各テープ間の相対的性能に重点をおいて調査した。以上はその中の基本部分について概要を述べたものである。

謝 辞

本調査を行なう機会を与えて下さった東北電気通信局の桑原施設部長（前 データ通信本部調査役）、本稿をまとめるに当り便宜を計って下さったデータ通信本部松沢調査役、北村調査役に感謝します。なお本調査に当り多大の御指導をいただいた武蔵野電気通信研究所磁気記録研究室の笹岡室長補佐をはじめ研究室の方、また本計画を推進された布施調査員、鈴木係長、いろいろと協力していただいた立田、西木戸両社員に感謝します。

(昭和 47 年 2 月 24 日 受付)

(昭和 47 年 8 月 10 日再受付)