

電子計算機用フェライト記憶素子ならびにその応用

Ferrite Memory Cores and Their Applications to Computers

横井 昭 夫*
Akio Yokoi小田原 弘 造*
Kôzô Odawara中 島 皇*
Sumera Nakajima

要 旨

フェライトメモリコアは高信頼性、長寿命、高速スイッチング、低コストなどの長所が利点となって最近ほとんどの電子計算機の主記憶装置用記憶素子として用いられている。日立製作所では HITAC 5020 をはじめ多くの計算機用コアの開発を行なっているが、本稿では特に大容量、高速メモリ用の記憶素子としてのフェライトコアの特性と問題点を明らかにし、さらにその応用としてメモリ特性について述べた。

1. 緒 言

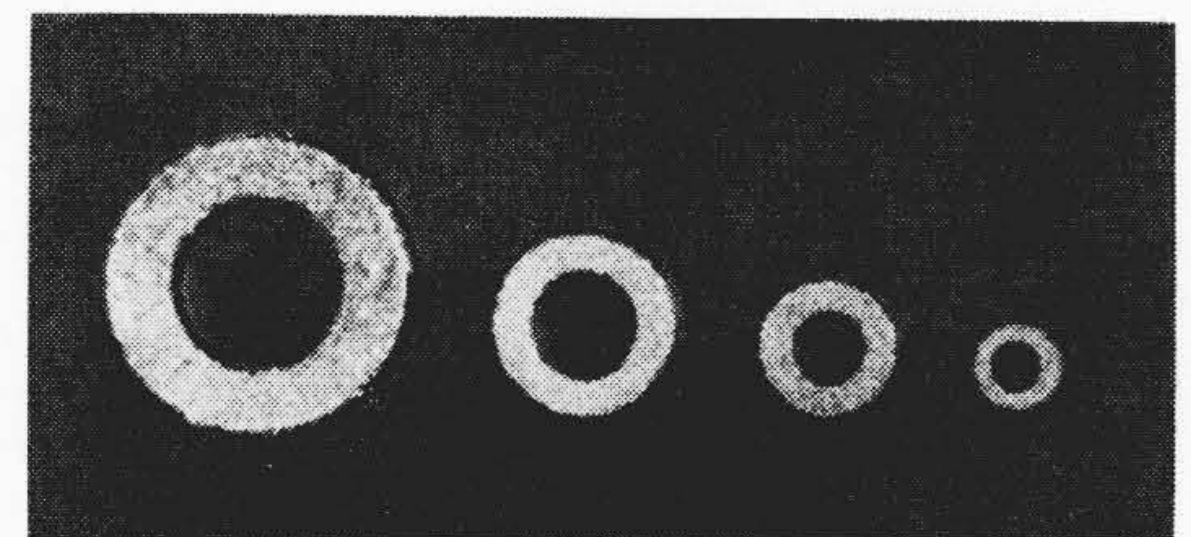
電子計算機の記憶装置にフェライトの非線形角形ヒステリシスを利用することはすでにアメリカにおいては 1951 年から始められ、1953 年には MIT の計算機に実装されている**。その当初から材質の安定性、低コスト、高い生産性、良好な信号対雑音比などの特性が注目されていたが、その後幾多の改良が重ねられ、今日ではほとんどの主記憶装置は記憶素子としてフェライトメモリコアを用いているといっても過言ではない。一方メモリの記憶容量ならびにスピードに対する要請も近時急速にきびしくなり、メモリの性格上容量数百万ビット***でも 1 ビットの不良も許されないため、メモリを製作するには材質的検討、製造技術、品質管理の三拍子そろった総合技術が必要とされている。

日立製作所茂原工場では日立製作所中央研究所ならびに神奈川工場の緊密な指導協力の下に検討を重ね、HITAC 5020 をはじめ、多くの計算機用メモリコアならびにメモリを開発し生産中である(図 1, 図 17, 18, 19, 20 参照)。

現在生産されているメモリコアは外径 30 ミル****(約 0.75mm)ならびに 20 ミル(約 0.5mm)が主体で、ここではこれらの特性および問題点を考察し、その応用例としてメモリコアで編まれたメモリブレンおよびスタックの特性に触れる。メモリコアおよびメモリに関する一般論としては多くの論文が発表されており、ここにあらためて多くを述べることはしない。

2. コア記憶方式の原理

角形ヒステリシス特性をもつ環状フェライトコアの記憶方式には電流一致方式(Coincident Current type…CC と略称)と語選択方式(Word Arranged type…WA と略称)とがある。その動作原理を図 2 に示す⁽³⁾。すなわち前者では“X”書込電流 I_x と“Y”書込電流 I_y との和で“1”を書込み、逆向きの同一電流($I_x + I_y$)を流したときの磁束変化速度(読出線に電圧を生ずる)で“1”出力を読み出す。また“0”書込み電流は $I_x + I_y - I_z$ と表わされ、“0”読出しの際に雑音を発生する。後者の動作原理も本質的にはなんら変わらないが、書込電流を小さくして部分書込を行ない、上下に非対象なヒステリシスループを用いる点が異なっている。これにより動作速度の高速化が可能になるが、駆動回路は複雑になりコストはやや高



(左から、50 ミル, 30 ミル, 20 ミル, 14 ミルコアの例)

図 1 フェライトメモリコア (×14)

くなる。コアの動作速度を示すスイッチング時間 T_s は(1)式で表われ、環状コアの場合は(2)式となる。

$$T_s = S_w / (H - H_c) \dots\dots\dots (1)$$

$$T_s = 2\pi r_0 S_w / (I_m - I_0) \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 S_w : コアのスイッチング係数(材質による)

H : 印加磁界

H_c : スwitching 臨界磁界

r_0 : コアの平均有効半径

I_m : 印加パルス電流

I_0 : H_c を与える臨界パルス電流

実際の使用条件は近似的に

$$I_m - I_0 \approx I_0 \quad (\text{CC コア})$$

$$I_m - I_0 \approx I_m \quad (\text{WA コア}) \quad \text{であることが多いから}$$

(2)式は

$$T_s \approx 2\pi r_0 S_w / I_0 \quad (\text{CC コア})$$

$$T_s \approx 2\pi r_0 S_w / I_m \quad (\text{WA コア})$$

と近似できる。したがって高速動作のためには S_w の小さい材質を選ぶこと、内径を小さくすること、 I_0 および I_m (読出電流)を大ならしめることが必要である。また $I_m - I_0$ の大きい語選択方式が高速動作に有利なことがわかる。さらに語選択方式では部分スイッチングを用いるので、 T_s のいっそうの短縮ならびに、自己発熱量の軽減が可能となる。

スイッチング速度と同時に留意すべき特性はメモリコアの角形性である。角形性を支配する逆磁区の発生機構については最も多くの検討が行なわれているが、本稿では角形性がメモリ特性に及ぼす影響の一例として Δ 雑音について述べる。コアは図 3 のようにメインループを使わず若干のマイナーヒステリシスループをスイッチングに使用しており、しかも記憶情報および妨害状況によってはヒステリシスループの各種状態(たとえば模式図 4 の A B C D E F)を取り得る。これらの状態が半選択読出を受けるとそれぞれの妨害状態に応じて半選択雑音を生ずる。これらの雑音を相殺するような使い方をするが図 4 中の wVh_1 と rVh_0 のごときはコアの角形性が不完全な場合はその差が無視し得ぬ値を示す(特に大容量メモリの場合には著しい)。この差 $\Delta = wVh_1 - rVh_0$ のようなものを Δ 雑音と称し、

* 日立製作所茂原工場

** 以下角形性ヒステリシスを利用したフェライト記憶素子をフェライトメモリコアまたは単にコアと略称し、フェライトメモリコアを用いた記憶装置をフェライトコアメモリまたは単にメモリと略称する。

*** ビットとは記憶情報の単位で通常 1 個のコアが 1 ビット(bit)を記憶する。

**** 1 ミル(mil) = 1/1,000 インチ = 0.0254 mm

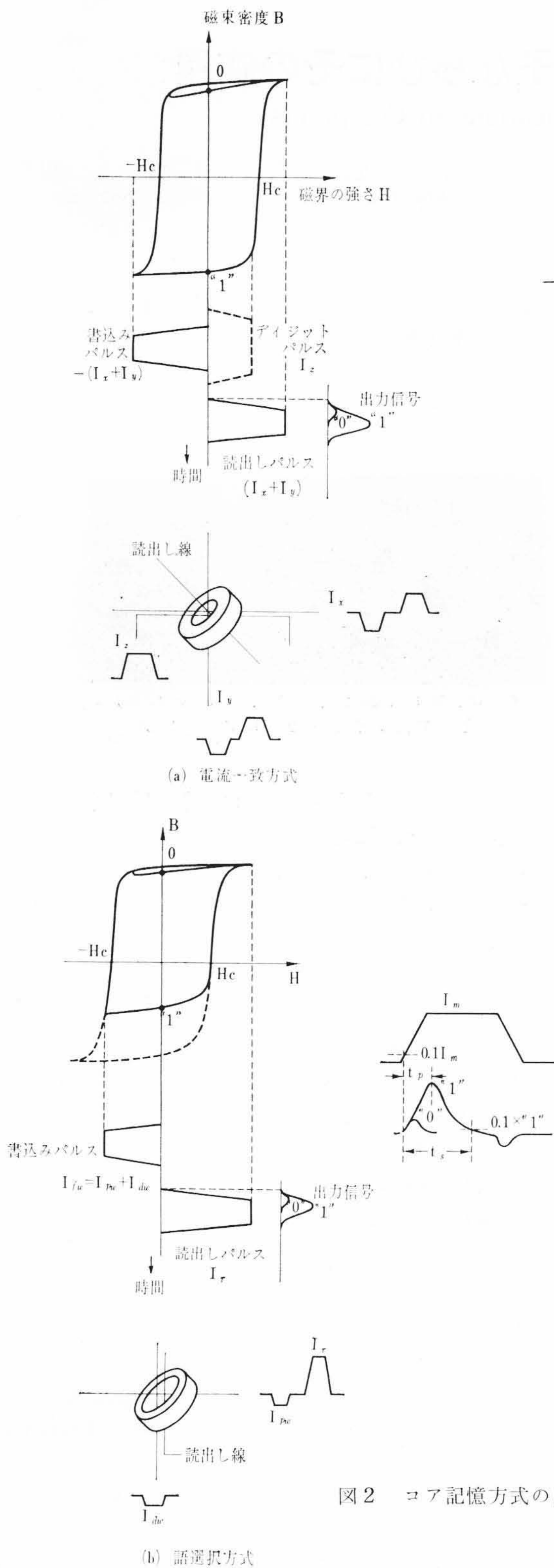


図2 コア記憶方式の原理

メモリ特性を支配する重要な量である。

3. フェライトメモリコアの特性

フェライトメモリコアは高速動作、高信頼度、長寿命であるために、高速電子計算機用主記憶装置に現在最も広く用いられているが、要求されるメモリの種類や動作条件の多様性によりメモリコアの種類も多い。その一例として代表的な日立フェライトメモリコアの特性一覧表を表1に示す。コアメモリの使用形式としてはすでに述べたとおり語選択方式(WA)と電流一致方式(CC)とがあるが、すぐれた経済性のゆえに、近年後者がより多く使用される傾向にある。ま

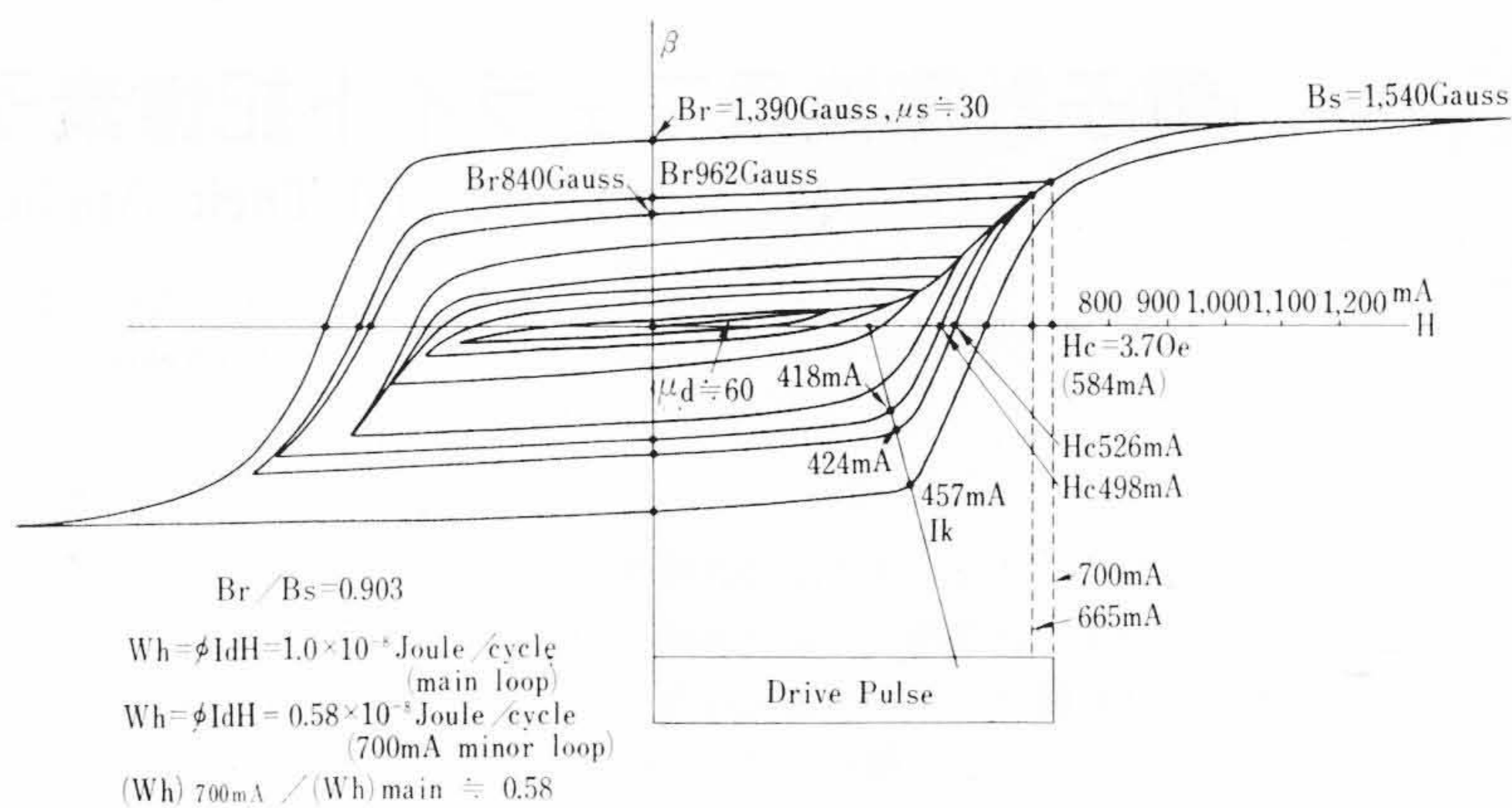


図3 電流一致方式メモリコア(HFC 314)のヒステリシス特性

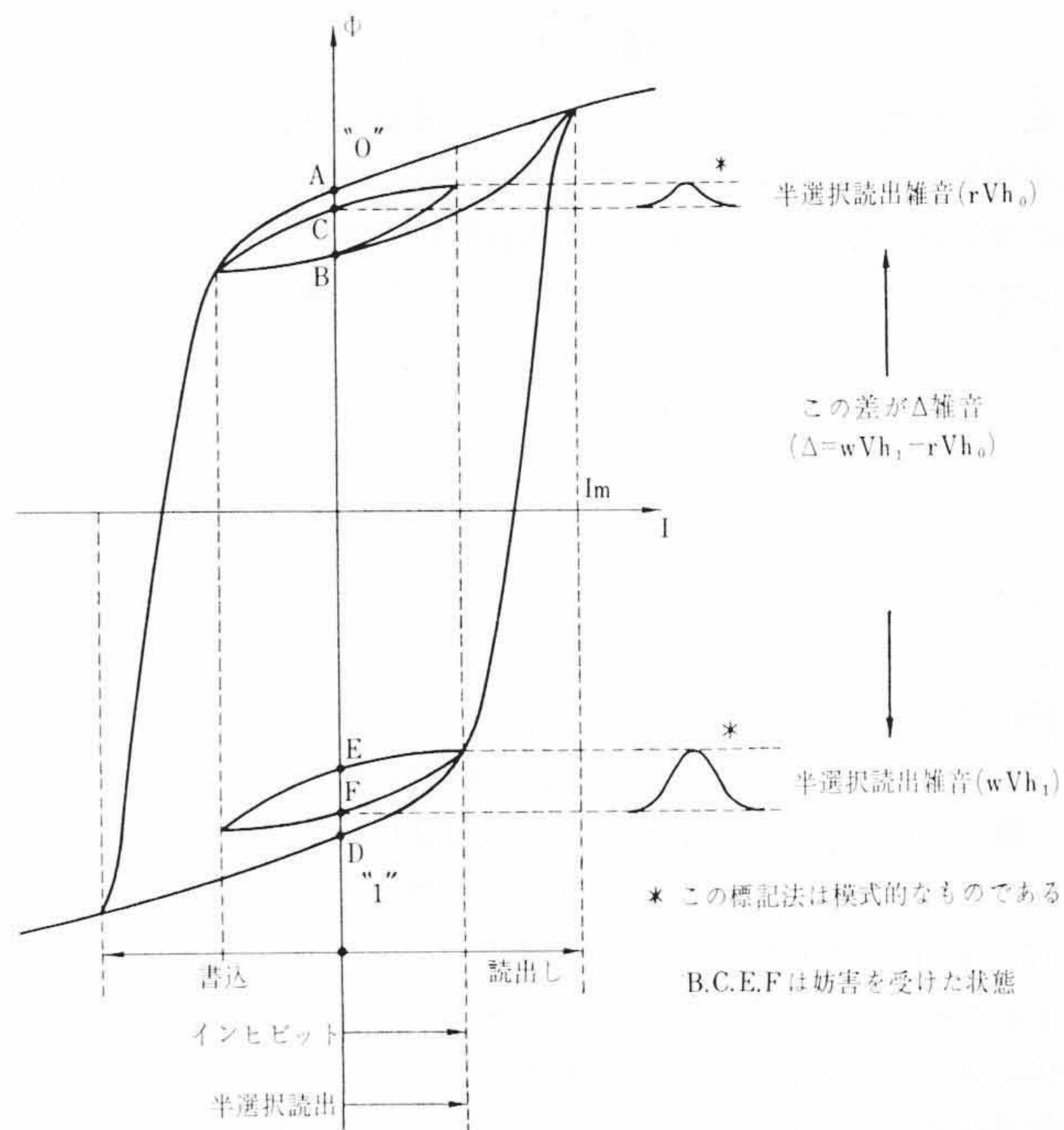


図4 メモリコアのマイナヒステリシスループの各状態の模式図

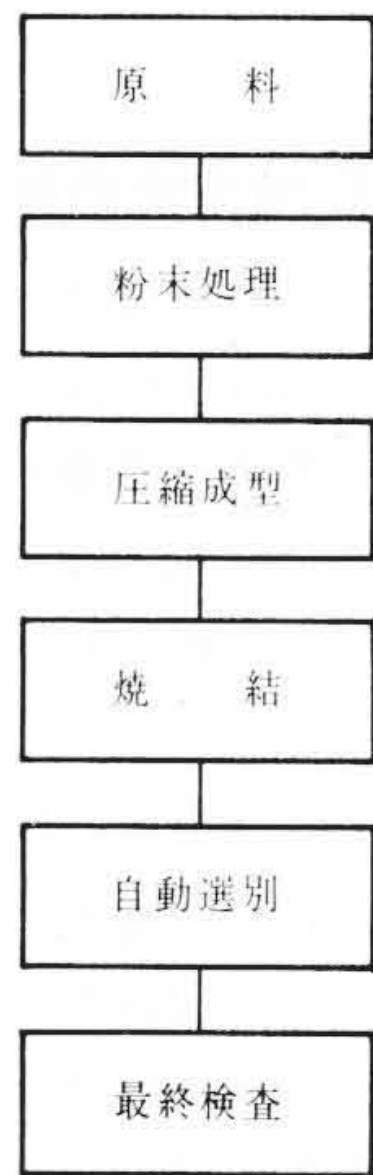


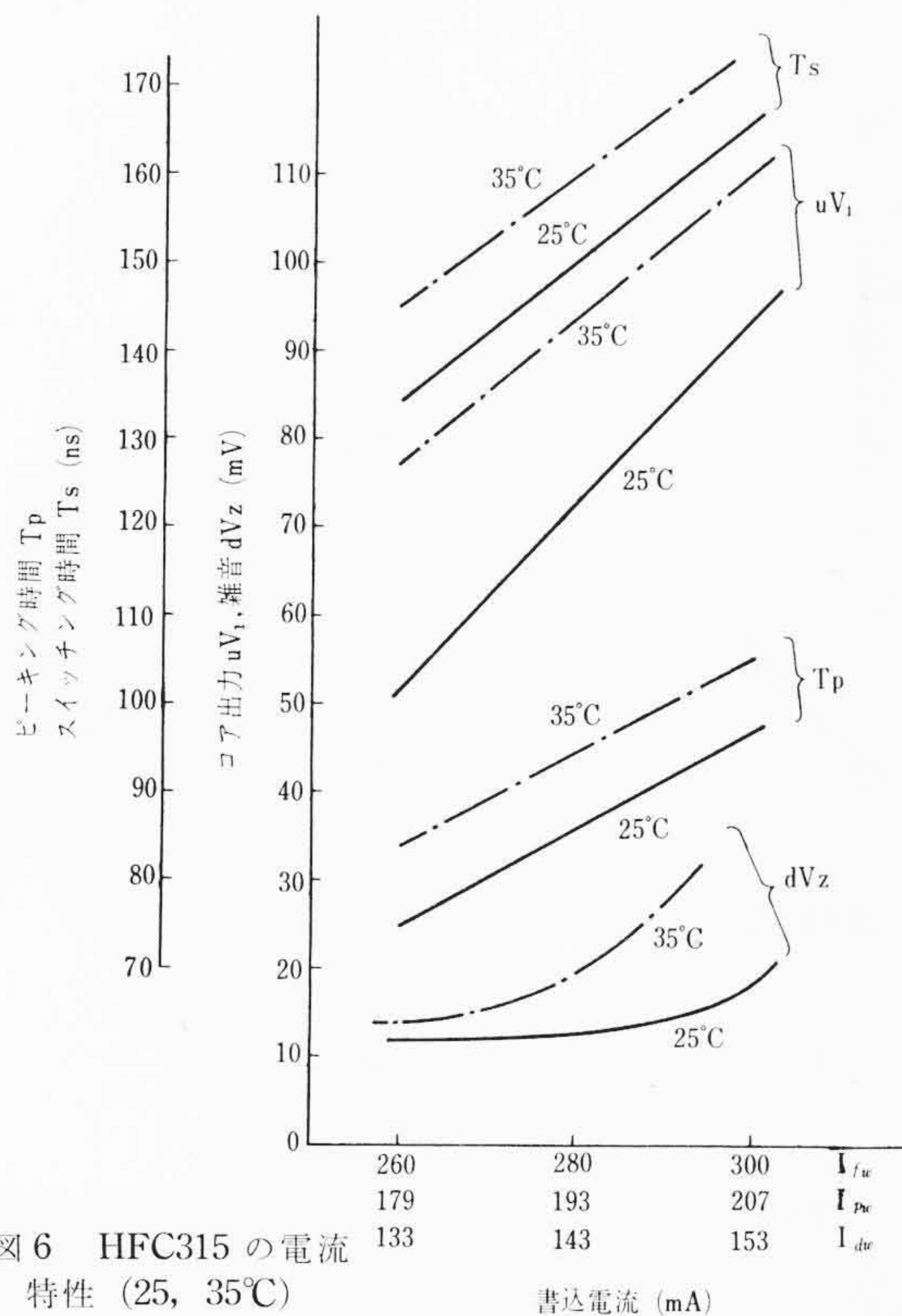
図5 フェライトメモリコアの製作工程

たコアメモリの高速化に対する要求は一段と強まり、コア寸法の小形化、大電流駆動、高速パルス駆動、あるいは特性限界ぎりぎりでの動作により、メモリサイクルタイム1.5μs以下(30ミルコア)または1μs以下(20ミルコア)で使用されるに至っている。本節では30ミルWAコアHFC 315と30ミルCCコアHFC 314を例にとって、その動作特性につき述べる。

表1 代表的な日立フェライトメモリコアの特性

品 種	形式	コア寸法 外径/内径/厚さ (mils)	メモリサイクル タイムの例 (μ s)	テ ス ト 条 件 (温度 $25 \pm 1^\circ\text{C}$)							出 力 特 性				
				読出電流 I_r (mA)	書込電流 I_w (mA)	部分書込 電流 I_{pw} (mA)	ディジット 書込電流 I_{dw} (mA)	立上り時間 T_r (μ s)	パルス幅 T_d (μ s)	測定温度 ($^\circ\text{C}$)	最小無妨 害出力 uV_1 (mV)	最小妨害 出力 dV_1 (mV)	最大雑音 dV_z (mV)	ビーキン グ時間 T_p (μ s)	スイッチ ング時間 T_s (μ s)
HFC511	CC	48/28/15.5	6~8	360	360	200	—	0.5	4.0	25	60	—	6	0.75	1.50
HFC512	CC	48/28/15.5	6~8	376	376	230	—	0.5	4.0	25	—	67	7.5	0.75	1.50
HFC312	CC	32/19.5/7.5	3~4	450	450	275	—	0.1	1.5	25	40	—	11	0.21	0.45
HFC316	CC	30/17.5/10	1.5~4	500	500	300	—	0.1	0.4	25	50	—	12	0.20	0.42
HFC314	CC	32/19.5/7	1.5~2	700	700	435	—	0.1	0.3	25	—	46	7	0.21	0.37
HFC318	CC	32/19.5/8	1.5~2	640	640	391	—	0.1	0.8	25	—	38	10	0.19	0.43
HFC212	CC	23/13/5	1.0	640	640	391	—	0.05	0.5	25	34	32	10	0.14	0.29
HFC311	WA	30/17.5/10	1.5~3	400	261	176	143	0.12	0.40	25	70	—	12.5	0.15	0.24
HFC315	WA	30/17.5/10	1.0~1.5	450	280	193	143	0.08	0.225	25	70	—	15	0.09	0.16
HFC317	WA	30/17.5/10	1.5	400	295	190	135	0.10	—	25	78	—	13	0.11	0.20
HFC211	WA	21/11/5.5	0.5~0.7	600	400	261	208	0.04 (I_r)	0.12 (I_{fw})	25	56	—	14.5	0.05	0.09
*HFC354	CC	30/17.5/9	1.5~3	660	660	396	—	0.1	0.8	25	—	39	8.5	0.25	0.55
*HFC356	CC	30/17.5/9	1.5~3	800	800	488	—	0.1	1.0	25	—	37	11	0.21	0.48
*HFC252	CC	21/11/5.5	1~1.5	675	675	435	—	0.05	0.50	25	35	—	10	0.14	0.34
*HFC256	CC	21/11/5.5	0.84	850	850	518	—	0.05	0.50	25	—	25	10	0.11	0.20

* 印 広温度域フェライトメモリ

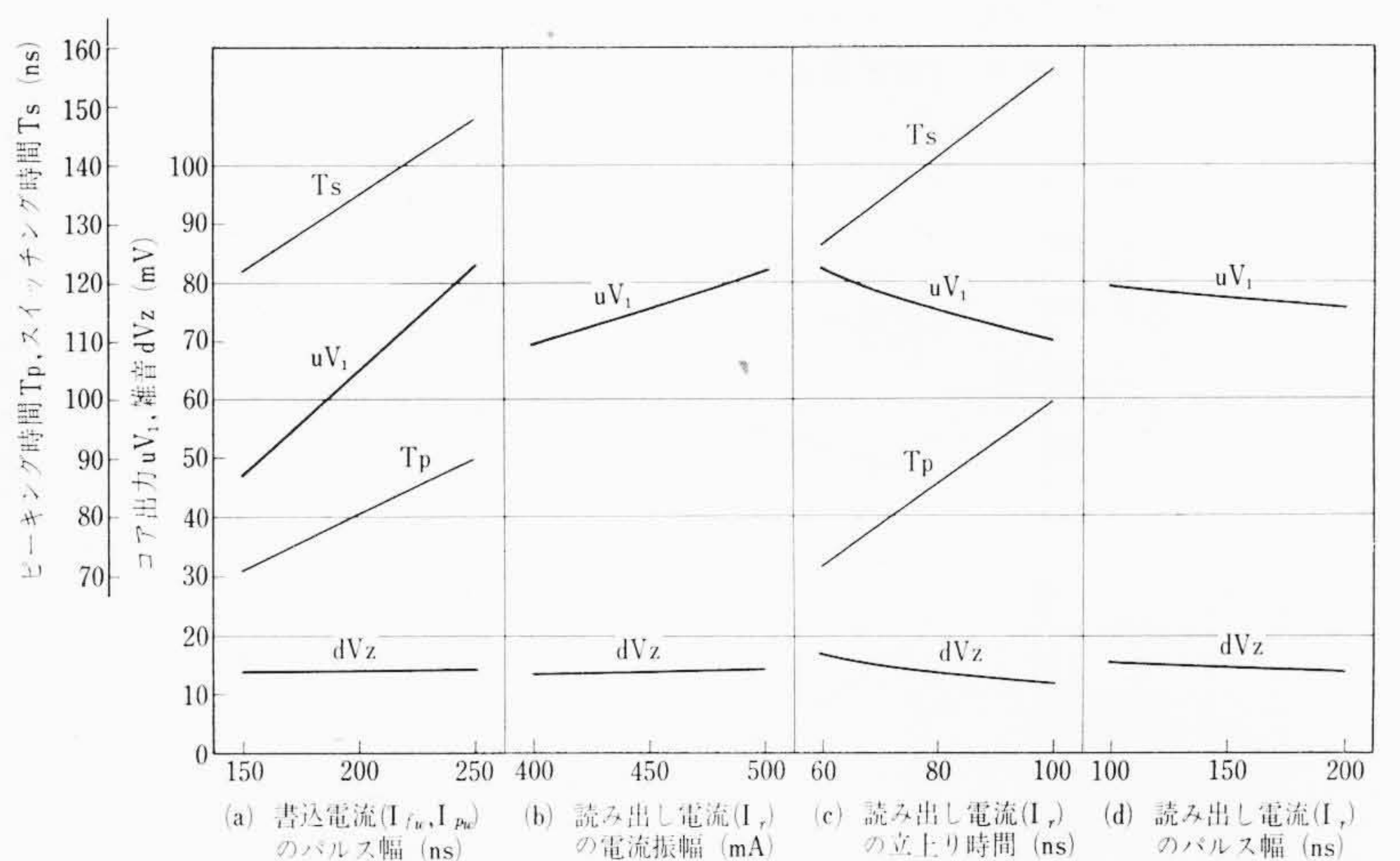
図6 HFC315の電流特性 (25, 35 $^\circ\text{C}$)

測定条件	電流振幅	$T_r = T_f$	T_d	電流変動マージン 9%, ディスタープ比 (DR*)=0.51
I_r	450mA	80ns	200ns	
I_{fw}	可 変	80	225	
I_{pw}		80	225	
I_{dw}		100	300	

3.1 メモリコアの製法

図5に製作工程の概略を記す。粉末処理工程では焼によってフェライト化の化学変化を相当に進行させ、ついで結着剤を加えて圧縮成形しやすいような顆粒をつくる。粉末の粒度と粒形はメモリコアの特性に大きな影響を及ぼすので原料粉の粒度、粉砕方式および時間の調節は重要である。

顆粒粉は高速自動プレス機によってトロイド状に圧縮成形された後高温で焼結される。メモリコアの特性ばらつきはわずかしかな容されないのて本工程は厳密な管理を必要とする。最後に焼結コアは自動選別機による全数選別検査を受ける。本工程はメモリコアの特殊性を示したものとえよう。選別されたコアは“1”出力, “0”出力, T_p , T_s (定義は図2参照)につき MIL STD 105C LEVEL II AQL 0.015% の検査を受ける。

(a) 書込電流(I_w, I_{pw})のパルス幅 (ns) (b) 読み出し電流(I_r)の電流振幅 (mA) (c) 読み出し電流(I_r)の立上り時間 (ns) (d) 読み出し電流(I_r)のパルス幅 (ns)測定条件
(横軸の変動
パラメータ
を除いて)

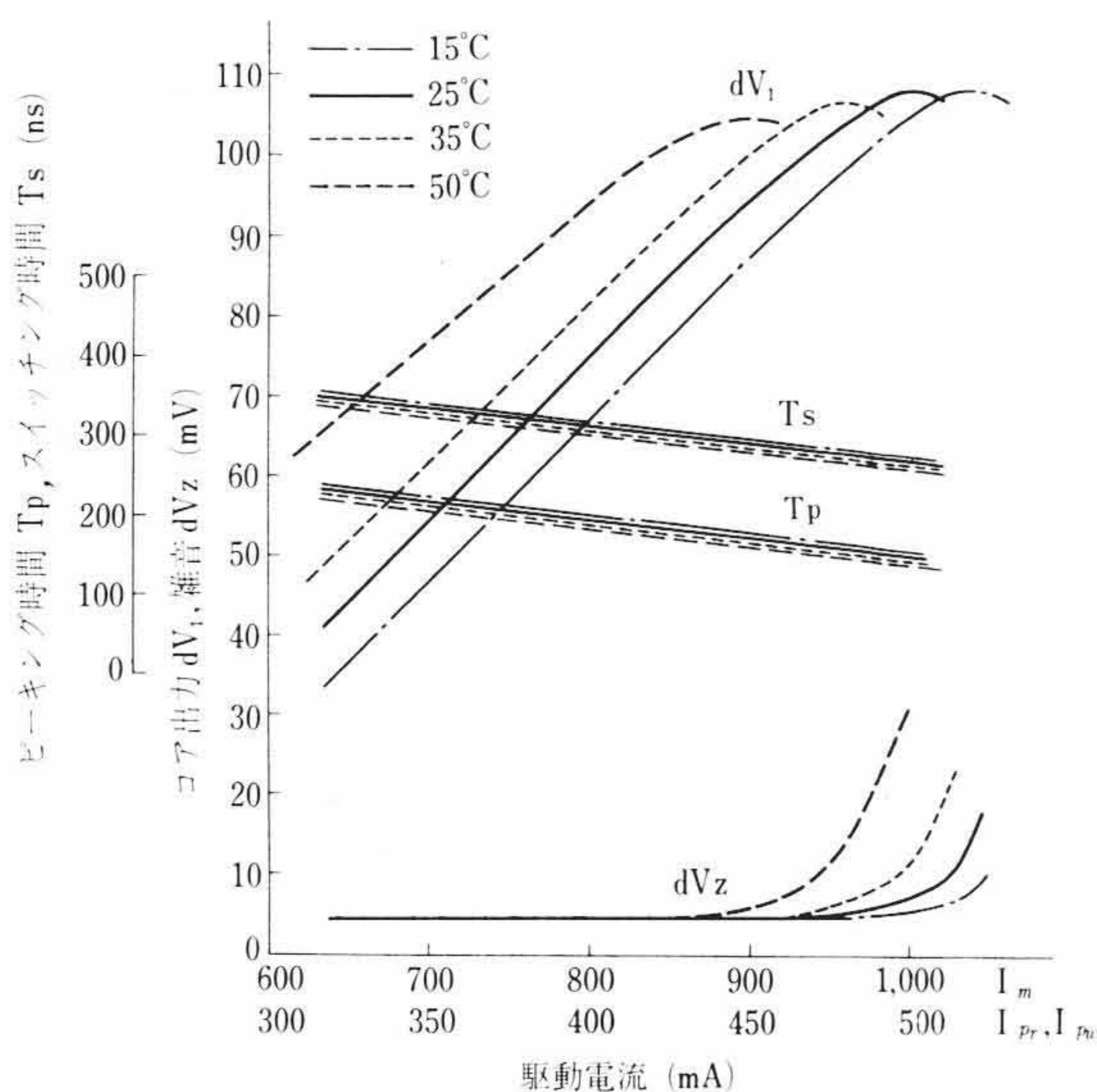
	電流振幅(mA)	$t_r = t_f$ (ns)	t_d (ns)
I_r	450 (b)	80 (c)	200 (d)
I_{fw}	280	80 (a)	225
I_{pw}	193	80 (a)	225
I_{dw}	143	100	300

図7 HFC315の出力特性 (25 $^\circ\text{C}$)

3.2 語選択方式 30 ミルコア HFC 315 の動作特性

WA コアメモリは部分書込状態を高電流で読み出すことによって高速化および S/N 比の改善を可能とする方式であるが、日立フェライトメモリコア HFC 315 はメモリサイクルタイム 1~1.5 μ s 用に用いられる 30 ミルコアである。その電氣的特性を図6, 7に示す。図6は 25 $^\circ\text{C}$ および 35 $^\circ\text{C}$ における電流特性であり、図7は出力特性の (a) 書込電流のパルス幅依存性、(b) 読出電流の振幅依存性、(c) 立ち上がり時間依存性 (d) パルス幅依存性を表わしたものである。これらの結果から電流変動マージン 9% をみこんだうえで、書込電流のパルス幅を 225 ns にしても約 70 mV 以上の大きな出力が得られることがわかる。また読出電流振幅やパルス幅を変えても出力特性にあまり大きな変化を及ぼさないが、立ち上がり時間を小さくすると、出力は増すが、それ以上に雑音も増すのであまり小さくすることはできない。以上を総合すれば HFC 315 の最適テスト条件として次の条件での動作が可能であり

	振幅 (I)	$T_r = T_f$	T_d
I_r	450mA	80 ns	200 ns
I_{fw}	280	80	225
I_{pw}	193	80	225
I_{dw}	143	100	300



測定温度 15~50°C $T_r = T_f = 80$ ns $T_d = 300$ ns

図 8 HFC 314 の電流特性

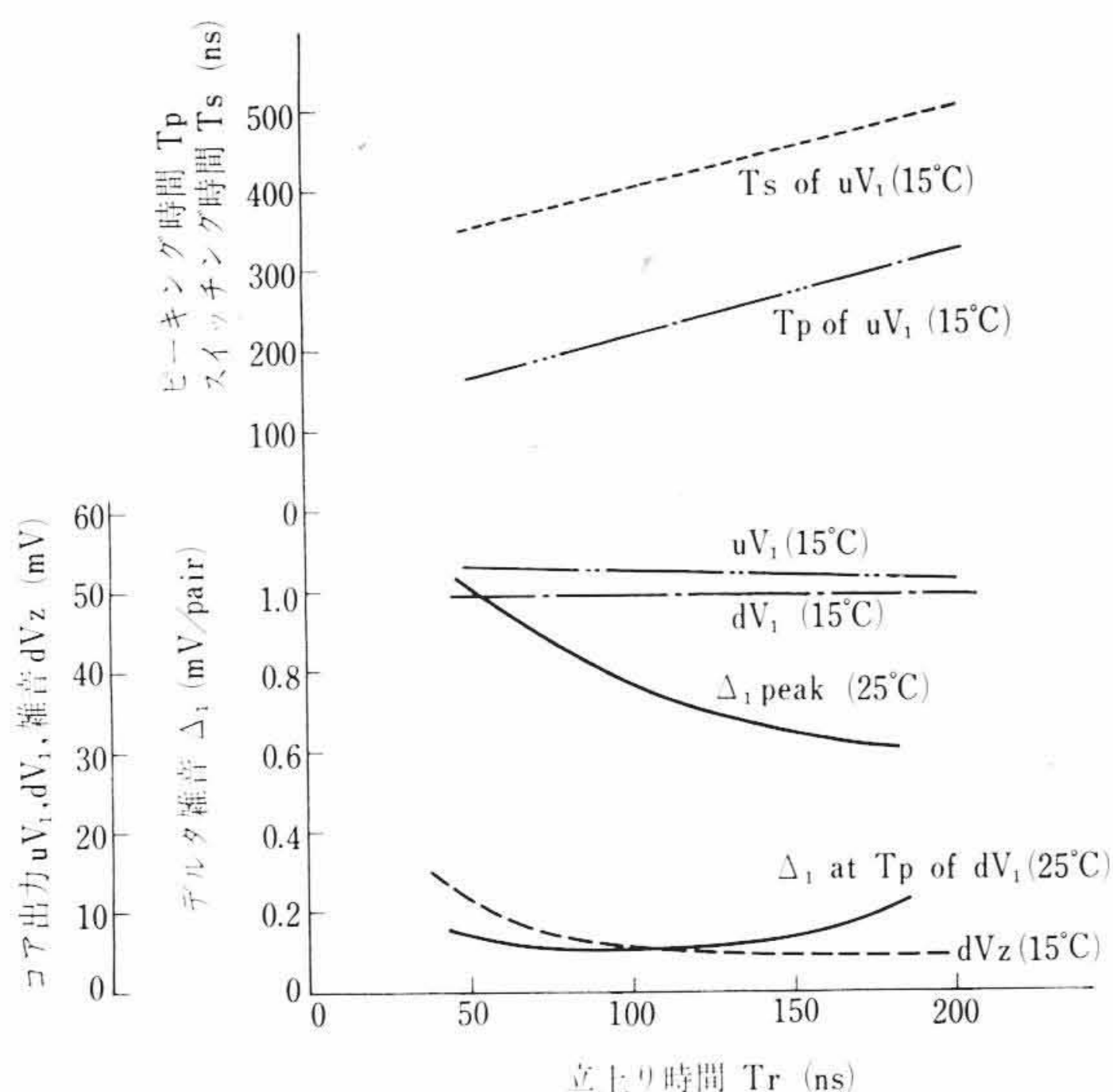


図 9 HFC 314 出力の立ち上がり時間依存性

その際メモリサイクルタイムは $1.0 \sim 1.5 \mu s$ が可能である。それ以上の高速動作コアとしては 20 ミル WA コア HFC 211 が $0.5 \sim 1.0 \mu s$ 用に適していることが同様に示される。

3.3 30 ミル CC コア HFC 314 の動作特性

演算速度の点ではやや劣るが、すぐれた経済性のため CC コアメモリが近年多く使用されるようになった。しかし CC コアは角形性の良いことが非常に重要であり、それだけに高い製造技術を必要とする。一例として取り上げた日立フェライトコア HFC 314 はメモリサイクルタイム $1.5 \sim 2 \mu s$ 用のコアであり、その特性は図 8~10 に示すとおりである。

図 8 は $15 \sim 50^\circ C$ における出力の電流依存性を、図 9 は立ち上がり時間依存性を、図 10 にはパルス幅依存性を示す。これらの結果で興味あることは、図 9 から立ち上がり時間を小さくすると出力はあまり変わらず dV_z および Δ 雑音 (ピーク値) は増加するがストロブ時点の Δ 雑音は逆に減少することである。つまり立ち上がり時間が 100 ns 付近で S/N 比は最も良くなる。また図 10 からパルス幅が小さいとスイッチングが完了せず部分スイッチングとなるので、あまり小さくはできない。

すなわち $T_d \geq 300$ ns がよい。次にメモリプレンおよびスタックの最悪ケースの特性をコア特性から導出する方法について述べる。

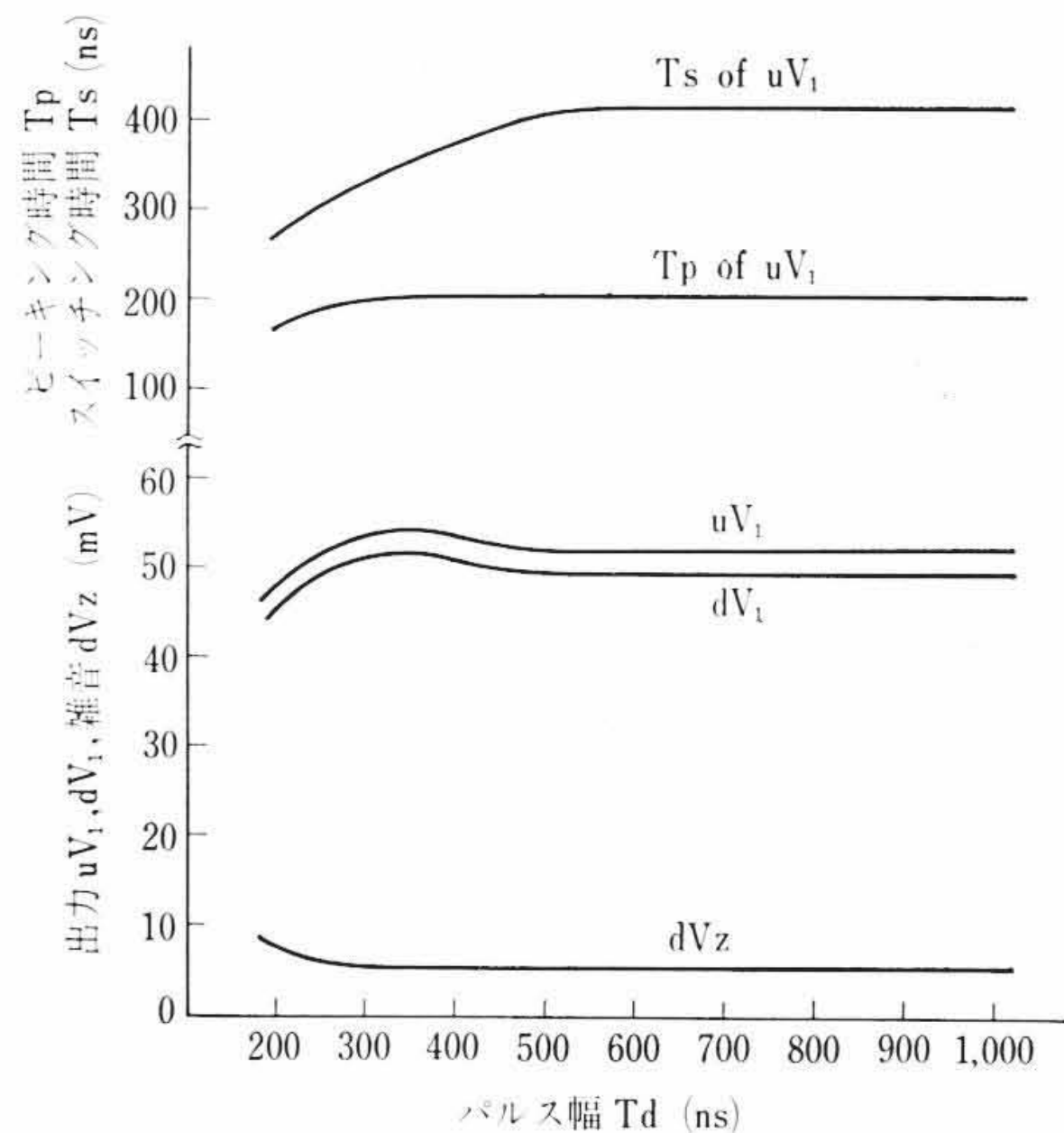


図 10 HFC 314 出力のパルス幅依存性 ($25^\circ C$)

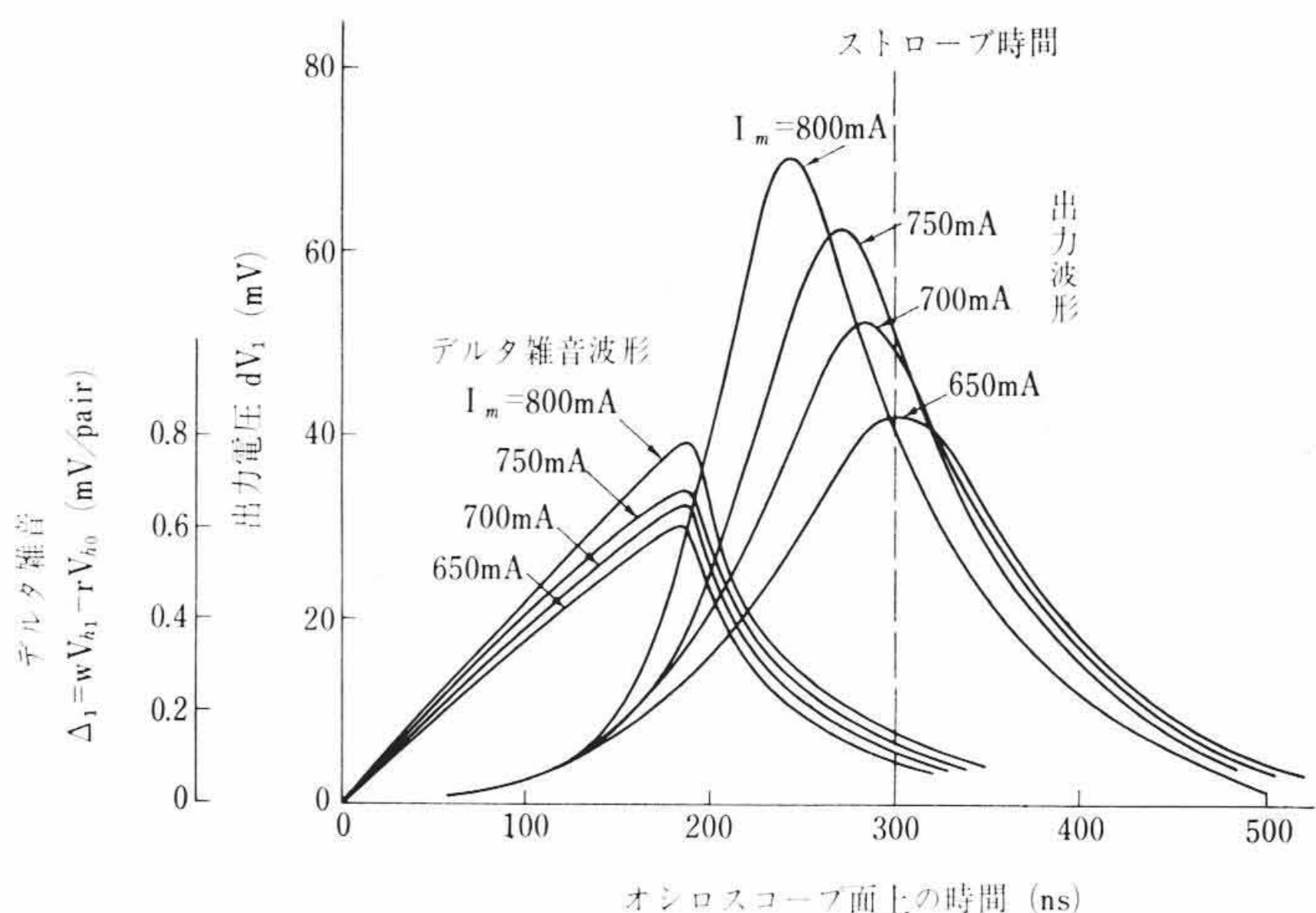


図 11 HFC 314 の出力波形および雑音波形

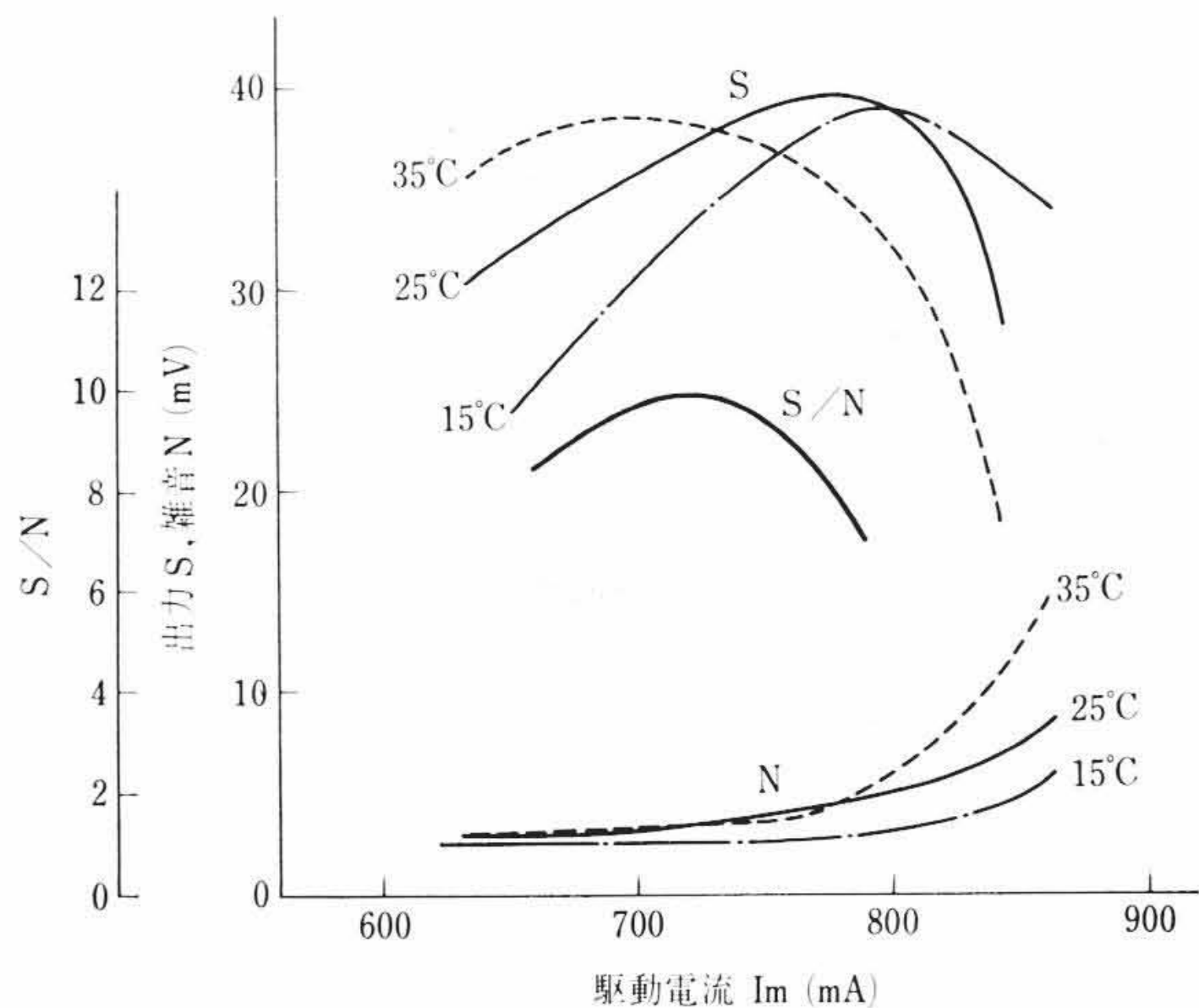


図 12 プレンの最悪状態の電流特性

図 11 にはオシロスコープ面上に観測される出力波形およびデルタ雑音波形 (1 pair 当たり) を示す。プレンスイズ (たとえば 32×32 , 32×64 , 64×64 etc) に応じてプレンの Δ 雑音が決まるので任意のストロブ点における出力信号 S と雑音 N とは

$$S = dV_1 - \Delta \quad (\text{ストロブ時点})$$

$$N = \Delta \quad (\text{ストロブ時点})$$

として求められる。ストロブ時間を 300 ns にしたときの HFC 314 の S, N の電流特性を 32×32 のプレンスイズについて図 12 に示す。

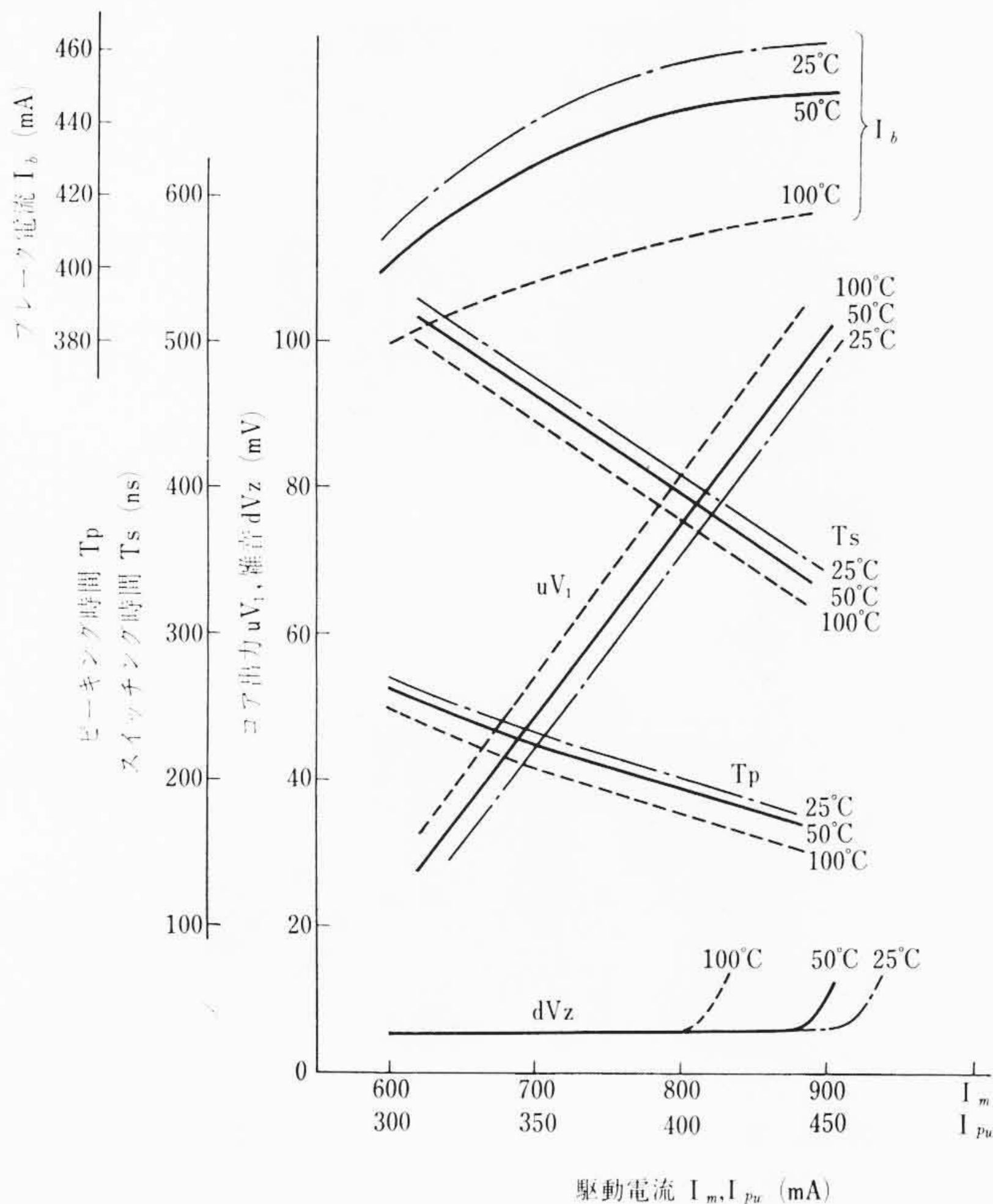


図13 広温度域コア HFC 354 の電流特性

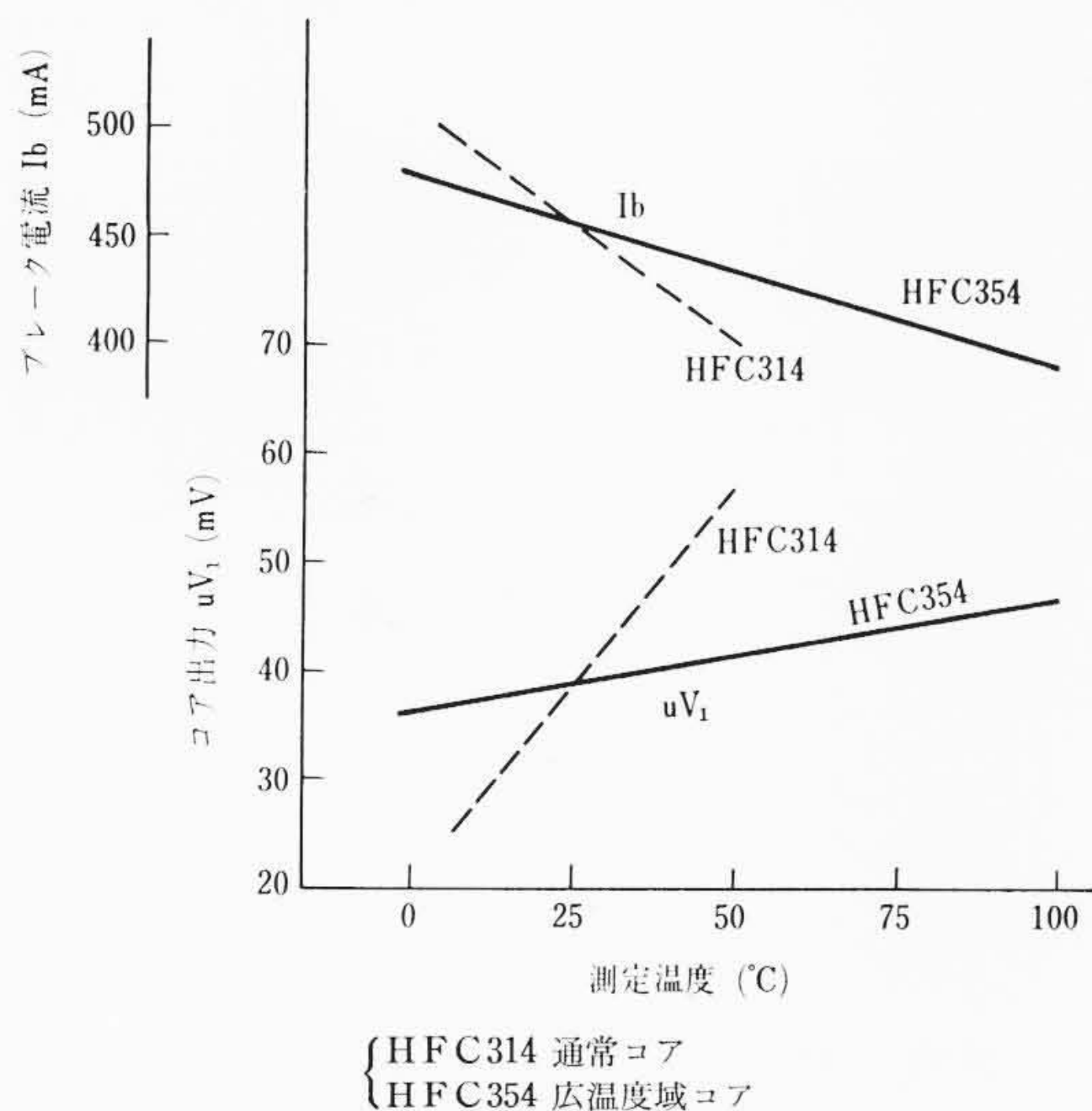


図14 通常コアと広温度域コアの温度特性

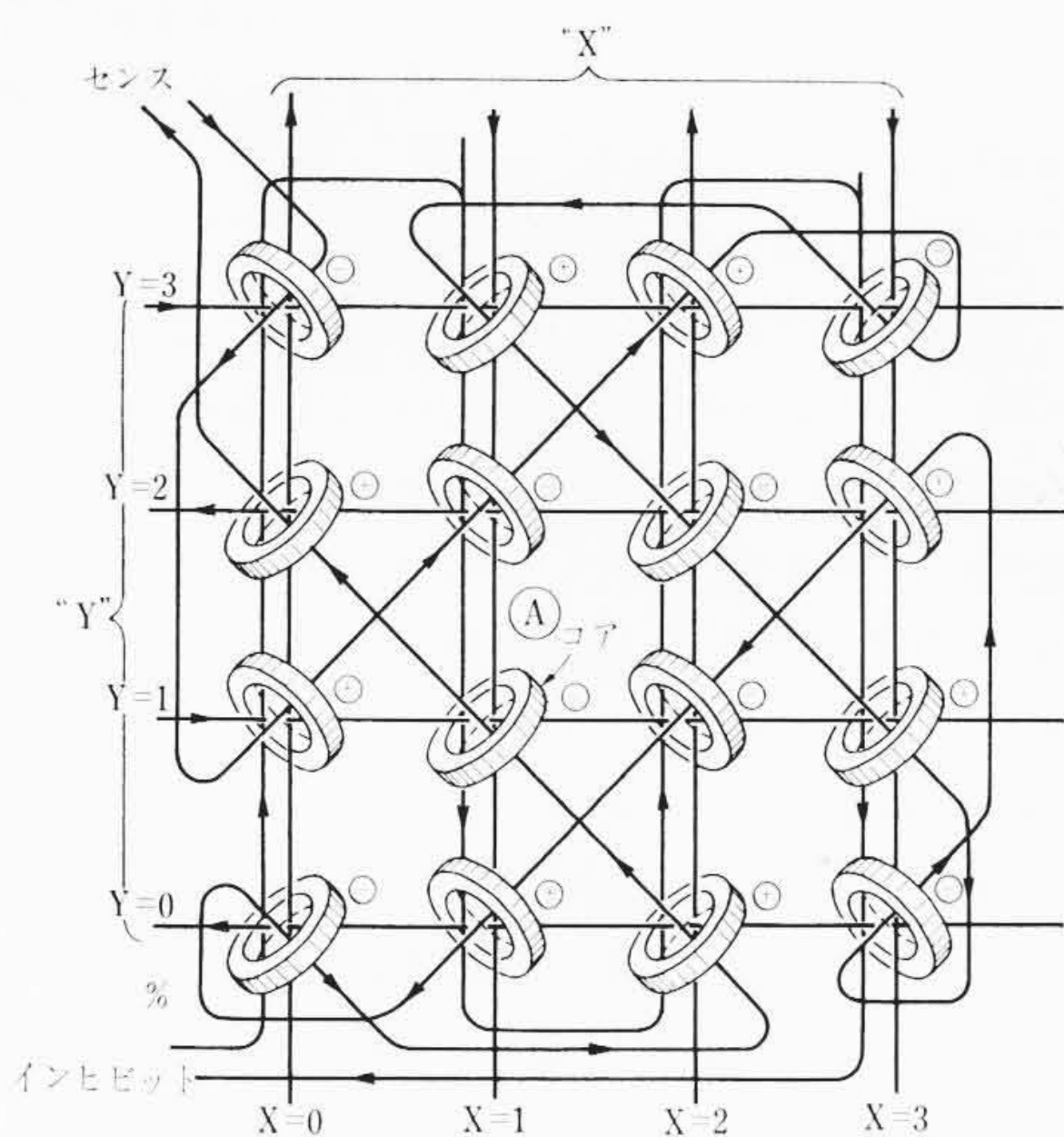


図15 電流一致方式メモリプレンの配線例

温度変動 $15 \sim 35^\circ\text{C}$ として最悪状態におけるプレンの S/N 比は $I_m = 650 \sim 780 \text{ mA}$ において 8 以上となる。以上を総合すれば $1.5 \sim 2.0 \mu\text{s}$ のサイクルタイムで動作させるとき最悪状態のプレーン出力として S/N 比が 5 以上が期待される。

3.4 広温度域用フェライトメモリコアの特性

HFC 314 に対応する広温度域用メモリコア HFC 354 の電流特性を図 13 に、温度特性を図 14 に示す。出力の温度係数およびプレーン電流の温度係数がともに HFC 314 より非常に小さいことがわかる。温度調節を行わないような電子計算機メモリ、電子交換機メモリ、制御器用のメモリに適しており、広い用途が期待されている。

4. フェライトメモリコアの応用…フェライトコアメモリ

フェライトコアを用いて所定の記憶作用を行なわせるためにはコアを図 15 または図 16 のように配列してマグネットワイヤによって編み上げたいわゆる記憶プレーン(メモリプレーン)にすることが必要である。さらにこれらのメモリプレーンを積み重ねて配線したものを記憶スタック(メモリスタック)と称する。メモリプレーンには多くの種類があるが、図 15 が電流一致方式(CC)の例、図 16 が語選択方式(WA)の例である。

表 2 はその分類例で代表的な機種を図 17~20 に示す。

それぞれの特色はコアで説明したとおりであるが必ずしもその評価は固定したものではなく CC 方式でも 16 kW でメモリサイクル $1 \mu\text{s}$ 以下のものが発表されつつある。WA 形のメモリプレーンはメモリコアの部分スイッチングを利用して高速動作を可能にし、かつ読

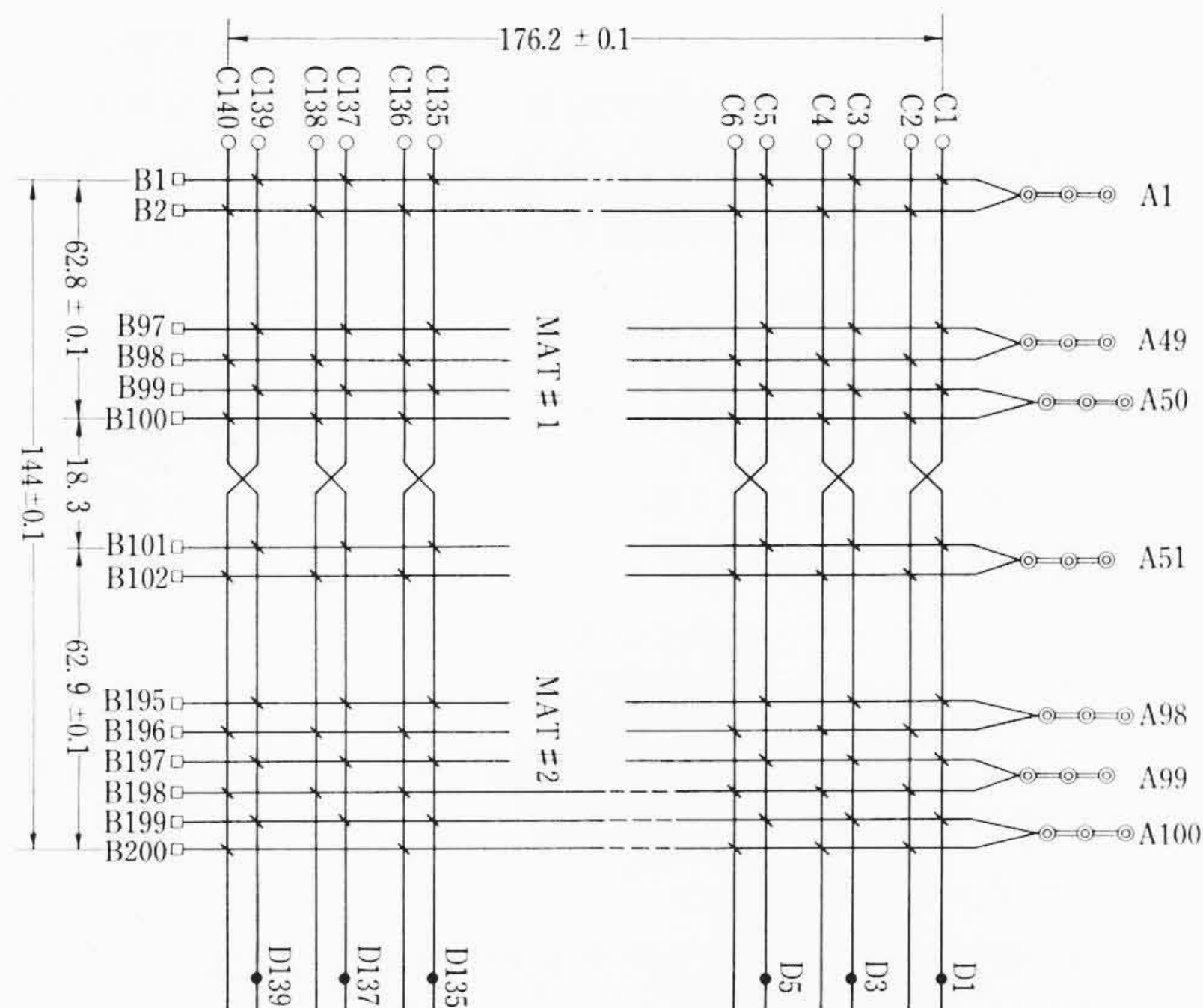


図16 語選択方式メモリプレンの配線例

表2 代表的な日立フェライトメモリの特性

スタック 型番	メモリ モード	メモリ サイクル (μs)	容 量	駆動電流 (mA)	T_r, T_f (μs)	T_d (μs)	出力特性		コ ア 型 番
							min. "1" (mV.)	max. "0" (mV.)	
HFS 011	CC	6~8	50X50X4X28	360/180	0.5	1.2	50	10	HFC 511
HFS 012	CC	6~8	64X64X1X28	376/188	0.5	1.7	54	11	HFC 512
HFS 612	CC	3~4	50X50X4X28	480/240	0.3	0.6	30	10	HFC 312
HFS 614	CC	1.5~2	64X64X4X33	700/350	0.15	0.35	32	8	HFC 314
HFS 654*	CC	1.5~2	64X64X4X()	700/350	0.15	0.75	35	4 at st- robe time	HFC 354
HFS 454*	CC	1	64X64X4X()	820/410	0.06	0.3	25	10	HFC 254
HFS 311	WA	1.5~3	8KWx 36bits	400/281/176/143 0.12	0.40	0.225	58	17	HFC 311
HFS 315	WA	1~1.5	4KWx 36bits	450/280/193/143 0.08	0.225	0.12	50	20	HFC 315
HFS 317	WA	1.5	4KWx 70bits	410/285/185/100 0.08	0.12	0.12	66	18	HFC 317
HFS 211	WA	0.7	4KWx 36bits	600/350/235/193 0.04	0.12	0.12	50	20	HFC 211

* 広温度域メモリ

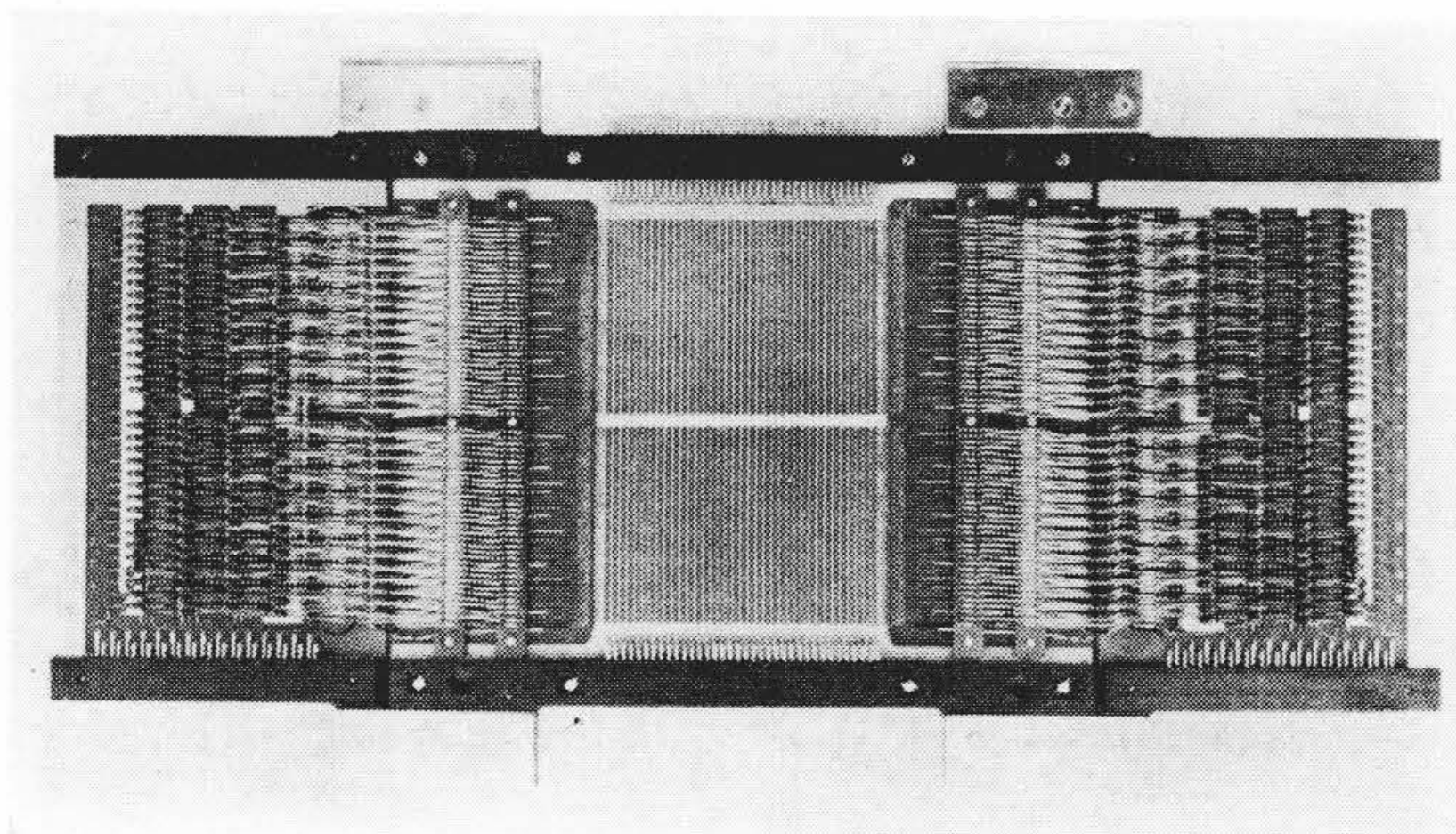


図17 語選択式(WA)メモリプレン(HFP 311)

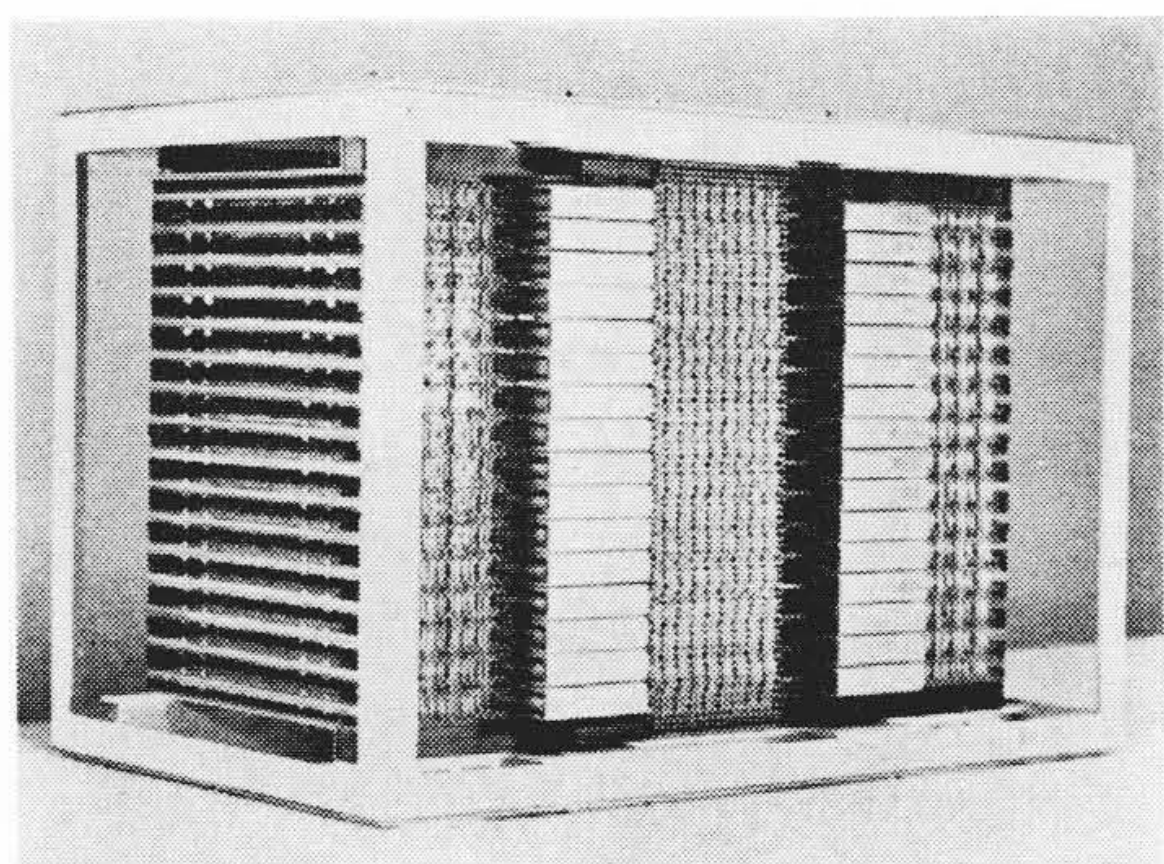


図18 語選択方式メモリスタック(WA) HFS 311

出線上に信号を発生するコアが1個のみであるから原理的に高いS/Nが約束されている。しかし大容量メモリになると部分スイッチングを行なっているために情報“1”を記憶しているコアと“0”を記憶しているコアのもつ微分透磁率の差がCC方式におけるより大きく、一対のビット線のインダクタンスの不平衡が生じやすい欠点がある。この点はメモリスピードを上げる際の大きな障害になっている。一方のCC方式ではプレンの構造上センス線上には多数の半選択コアが存在しこれが2章で述べたJ雑音を発生して大容量プレンの場合は著しくS/Nを低下せしめることが大きな問題で、角形性のよいコアを使うことが必要となる。以上のようにメモリには各動作方式に応じて多くの問題が存在しており、その一つ一つをここで述べることはできないが電流一致方式メモリの一品种、HFC 314コアを実装したHFP 614の実例について述べる。

4.1 コアメモリの実例

4.1.1 電流一致方式メモリスタック(HFS 614)の構成

HFS 614は電流一致方式30ミルコア(HFC 314)を用いた容量16kW×33ビットのスタック(図20)である。コアのピッチ0.8mmで編み上げられたプレン(HFP 614)(図19)がプリント基板に取り付けられており、このプレンが33枚積み重ねられてスタックを構成している。その大きさは182×182×140mmできわめて小形である。

4.1.2 HFS 614の性能

特性を支配する要因は多いが中でも (a) 最悪記憶情報パターンとJ雑音 (b) スタック駆動電流値 I_m およびその変動 ΔI (c) 駆動電流波形の変動(立ち上がり時間 t_r ならびにその変動 Δt_r) (d) 周囲温度($T_{min} \sim T_{max}$) (e) 1ビットが集中的に選択された場合の温度上昇(ΔT_1) (f) インヒビット電流による温度上昇(ΔT_2) (g) インヒビット雑音 (h) アドレス選択スイッチの雑音 (i) メモリプレンの編み方の不平衡による誘導雑音 (j) 信号の遅延などが問題になる。

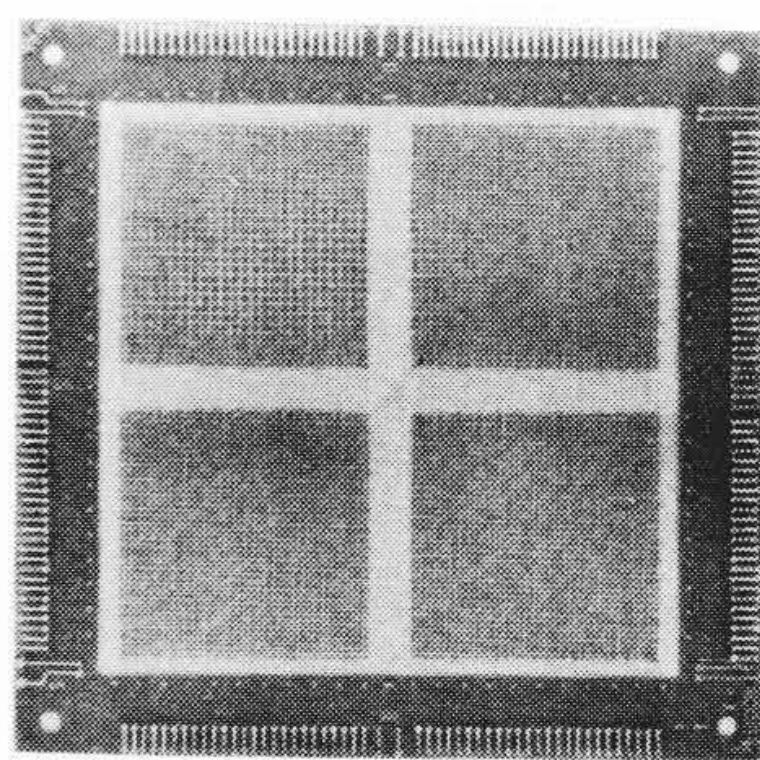


図19 電流一致方式(CC)メモリプレン(HFP 614)

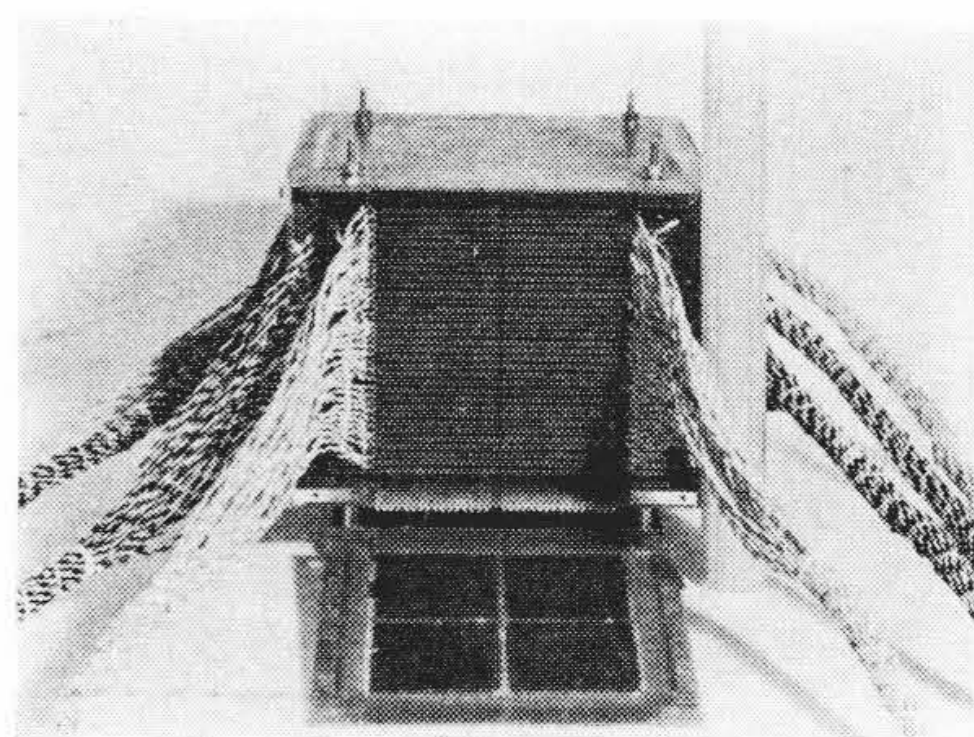


図20 電流一致方式メモリスタック(CC) HFS 614

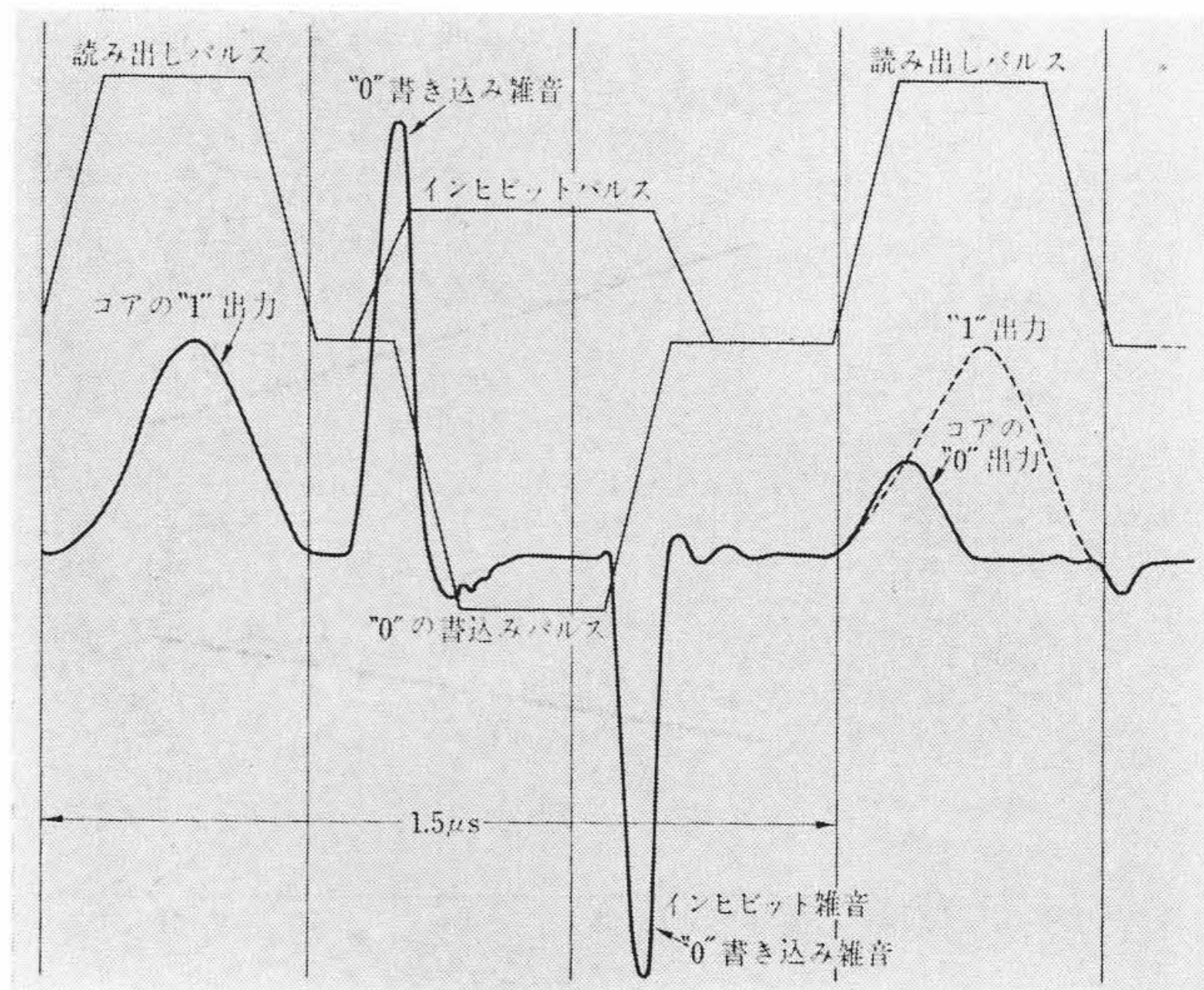


図21 HFC 614の駆動パルスと出力の関係

まず(a)は、メモリプレンの記憶情報ならびに妨害履歴が最悪状態の場合にはコアの出力を dV_1 、プレンの大きさを $n \times n$ 、半選択雑音を $h dV_1, h dV_0$ とすると一般に

$$\text{プレンの“1”出力} = dV_1 - 2h dV_1 - (n-2)J$$

$$\text{プレンの“0”出力} = dV_0 - 2h dV_0 + (n-2)J$$

で示される。この際(b)のように“1”については電流が $(-JI)$ 、“0”については $(+JI)$ 変動した場合を考慮せねばならない。

要因(c)は定量的には表現されがたいが等価的に立ち上がり時間 t_r の変動 Δt_r がS/Nを低下せしめることを考慮に入れることが必要である。

要因(d)(e)(f)は温度に対する配慮を要求するもので、“1”は周囲温度 T_{min} で考慮し“0”は周囲温度 T_{max} で考慮せねばならない。(e)のように特定ビットが集中的に選択されるとヒステリシス損によって1Mc動作で約3mWの発熱(図3参照)を伴い、熱浴の状態によって異なるが、5~20℃のコア温度上昇をきたす($\Delta T_1 = 5 \sim 20^\circ\text{C}$)。この効果は周囲温度を上昇させることは

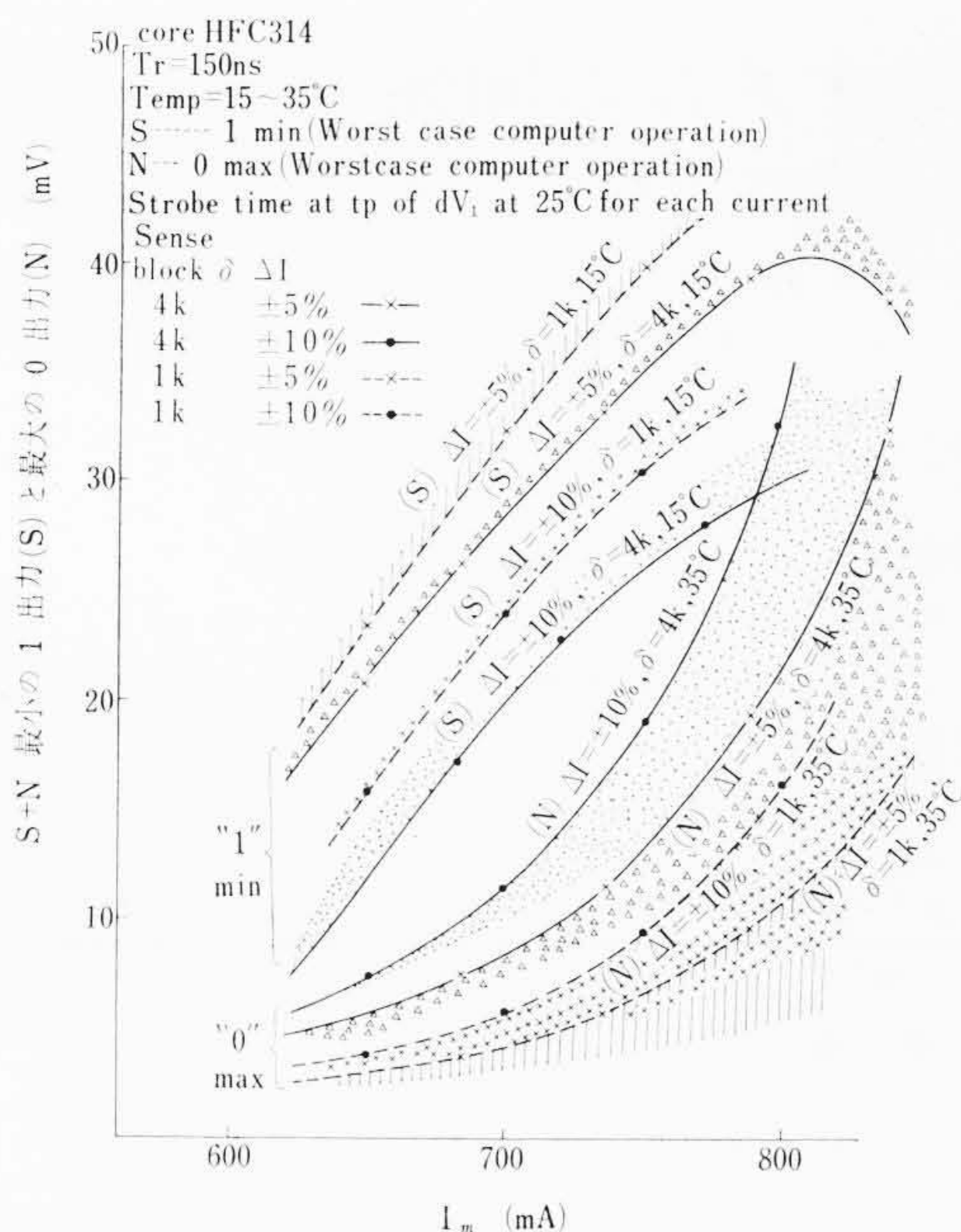


図22 HFC314を実装したメモリのコンピュータ動作で予想される最悪パタンの出力特性

ないゆえ、単体コアについて保証すればよく、コアのスイッチング限界電流値の設定に際して留意する必要がある。

一方要因(f)のインヒビット電流はスタック内の全ブレンが“0”を記憶する場合を考えると相当な発熱源であってスタック容量、駆動電流、熱伝導状態などの条件によって異なるが $\Delta T_2=10^\circ\text{C}$ 内外のふん囲気温度上昇をきたしブレンの半選択雑音ならびにJ雑音が増加する。

要因(g)はやや異質である。図21のようにインヒビット電流の立ち下がり時にはブレンのほとんどすべてのコア対が一種のJ雑音を発生し、その大きさは約120mVにも達し、これが次の読出タイミングまでに減衰しきれずに残りS/Nを低下させる。(h)

(i)(j)の要因もS/N低下の原因になりこれらすべての効果が重畳すると、大容量メモリの場合には著しいS/N低下をきたすのが普通である。図22はその一例を示したもので境界条件の設定を誤るとメモリ動作不能におち入ることが予想される。これに対する最も有効な対策はメモリコアの角形性および電流マージンを良くすることにあり、結局は良い材料を使うことがたいせつであるとの結論に帰するようである。

5. 結 言

フェライトコアを用いた電子計算機あるいはデータ処理装置はその信頼性、コストにおいて他の素子に比べて優位にあり、しかも近年急速に進みつつある素子の小形化と周辺部品の進歩によってスイッチング速度においても優位を保持している。しかしながら電子計算機の進歩は急速で、その要請にこたえてさらに進んだ素子を開発することは容易なことではない。従来試作を通じて、上記の目的を達するにはフェライト素子材料の検討が最も重要であることを痛感している。

このようなメモリ用フェライト材料の開発研究は、その応用としての記憶装置の開発とともに将来の大きな発展が確約されていると信じている。

終わりにフェライト材料ならびに記憶装置の基礎研究および開発にあたられた日立製作所中央研究所ならびに日立製作所神奈川工場の各位に厚くお礼申し上げる。なお本メモリ開発は総合技術的な要素が強く、上記各位および日立製作所茂原工場の関連部門の緊密な連絡協力に負うところがきわめて大である。ここに関係各位に厚く感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) Proc IEEE Vol.109 Part B 1962-9 383-389
- (2) IRE Trans on Instrumentation Vol.1-6 pp.153-156 1957
- (3) 大西、斎藤：電子材料 1965-1 p.53-58
- (4) Proc Inst. Elect. Engrs (London) 104B 400 (1957)

第28巻

目

次

第2号

- ・総合開発成る相模川
- ・淡路島の玉ねぎ
- ・東洋一のフッ素化学工場完成
——日東フロケミカル清水工場——
- ・ハイウェーの安全を守る“非常電話”
- ・楽園ゆき専用箕面スパーガーデンのリフトカー
- ・刃物のいらない加工法

- ・雪国のインドアスポーツを盛んに
- ・随筆 ネオンサイン.....宮城まり子
- ・成果のかげに音質の根本的解明
- ・話のロビーこたつ物語
- ・トビック自家ドライ店で活躍中
- ・ハイライトせん光、鋼を貫ぬく
- ・サイエンスジョッキー 周波数変換の話

発行所 日立評論社

取次店 株式会社 オーム社書店

東京都千代田区丸の内1丁目4番地
 振替口座 東京71824番
 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
 振替口座 東京20018番