

# 12Mビット磁気バブル記憶装置

## Twelve Million-Bit Bubble Memory System

1967年に磁気バブル記憶の可能性が発表されて以来、理論、材料、バブルの制御などのバブル素子の向上に関する検討が活発に行なわれ、この1～2年は実用化の研究が国内外で進み、磁気バブルが磁気ドラムや磁気ディスクに代わる固体ファイル記憶として注目を集めている。このような状況のもとで、このたび日本電信電話公社向け可搬形大容量電子交換機用に64kビットチップを用いた12Mビットの磁気バブル記憶装置を完成した。

本装置は磁気バブルの特徴の一つである固体化のため、従来の磁気ドラムでは困難であった架に実装したままの輸送が容易で、可搬形装置に適した装置である。また、性能的にも従来の磁気ドラムより優れている。

末宗康孝\* *Suemune Yasutaka*  
 近藤 晋\*\* *Kondô Susumu*  
 日比 進\*\* *Hibi Susumu*  
 末広紘司\*\* *Suehiro Hiroshi*  
 藤田 浩\*\* *Fujita Hiroshi*

### 1 緒 言

12Mビット磁気バブル記憶装置は、このたび日本電信電話公社が開発した可搬D20形自動交換装置<sup>1)~3)</sup>用補助記憶装置である。可搬D20形自動交換装置は、既に中小容量局用として使用実績のある、D20形電子交換機<sup>4)~7)</sup>を基に開発された。可搬D20形電子交換機の補助記憶装置には磁気ドラム装置が使用されていたが、磁気ドラムは機械的可動部をもっているため輸送時の振動に弱く、輸送時には装置から外し別輸送とする必要がある。このように、磁気ドラムは可搬形装置用としては不向きである。一方、磁気バブルは、磁気ドラムより優れた性能をもち、しかも、機械的可動部のない、いわゆる固体ファイルであり、他の電子装置と輸送条件は同じで、装置に実装した状態で輸送可能なこと、また、小形軽量であることなどから、可搬D20形自動交換装置用補助記憶装置に適しており、導入されることになった。本稿では、2、3章で磁気バブルの原理、特徴を、4章で12Mビットの装置を、5章で磁気バブルの適用例についてそれぞれ述べる。

### 2 磁気バブルの原理

ある種の単結晶磁性薄膜(オルソフェライト、磁性ガーネット)は、磁区が面に垂直な磁化容易軸をもっている。この単結晶磁性薄膜に、面に垂直な磁界(バイアス磁界 $H_B$ と呼ぶ)を加えていくと、図1に示すようにある磁界の範囲で円筒の磁区(ドメイン)が存在する。この円筒磁区は、あたかも「あわ」のように見えるため、バブルドメイン(以下、バブルと略す)と呼ばれている。このバブルの有無を2値情報の“1”、“0”に対応させれば、バブルを記憶素子として利用できる<sup>8)</sup>。

バブルを用いた記憶素子は磁気バブルメモリチップ(以下、チップと略す)と呼ばれる。図2に今回の装置に使用したメジヤマイナ方式の64kビットチップを示す。

チップは、GdGaガーネット(GGG)基板の上に液相成長法(LPE法)で作られた単結晶磁性薄膜と単結晶磁性薄膜の上に、バブルの発生・消去などの制御を行なうAl-Cuの導体パターンと、バブルを転送するためのパーマロイの転送路とを設けたものである。転送路には、図3に示すように、T-バー形とシェブロン形があり、バブルの転送は、チップに水平な回転磁界( $H_R$ )により誘起される転送路の磁極の移動によって行な

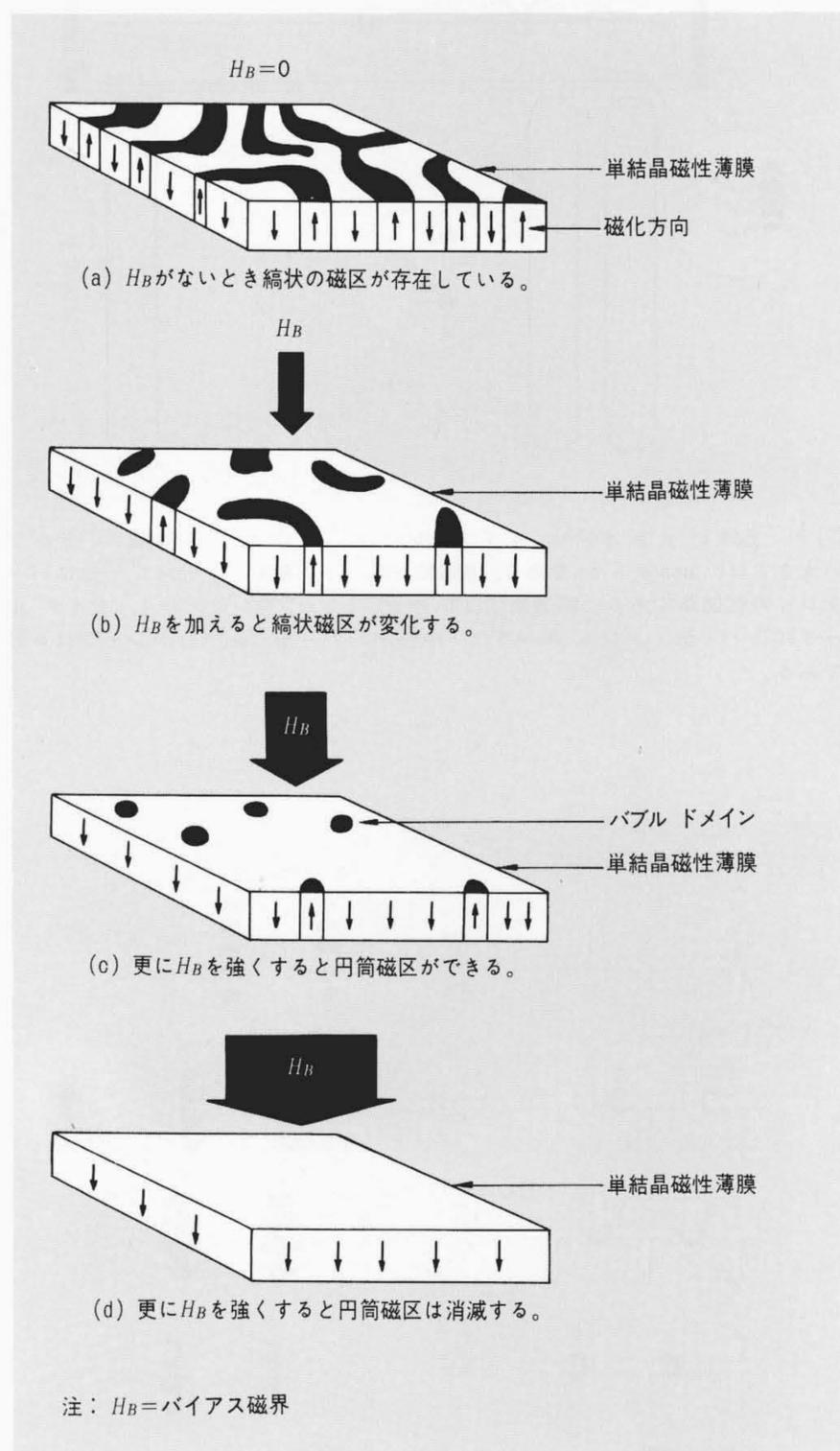


図1 磁気バブルの原理 磁気バブルは、あるバイアス磁界 $H_B$ のもとで安定に存在する。

\* 日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所 理学博士 \*\* 日立製作所戸塚工場

われる。書込器/消去器はバブルの発生、消去を行ない、レプリケータはバブルを読取用と再格納用の2個に分割し、トランスファゲートはメジャーループとマイナーループとの間でバブルの移動を行なう。

バイアス磁界は直流磁界であり、永久磁石で与えられるため、バブルの保持には外部からのエネルギーは不要で、情報は不揮発となる。

また、回転磁界は、図4に示すように直交する2個の偏平コイルにそれぞれ位相が90度異なる正弦波電流を流すことにより、その合成磁界として得られる。

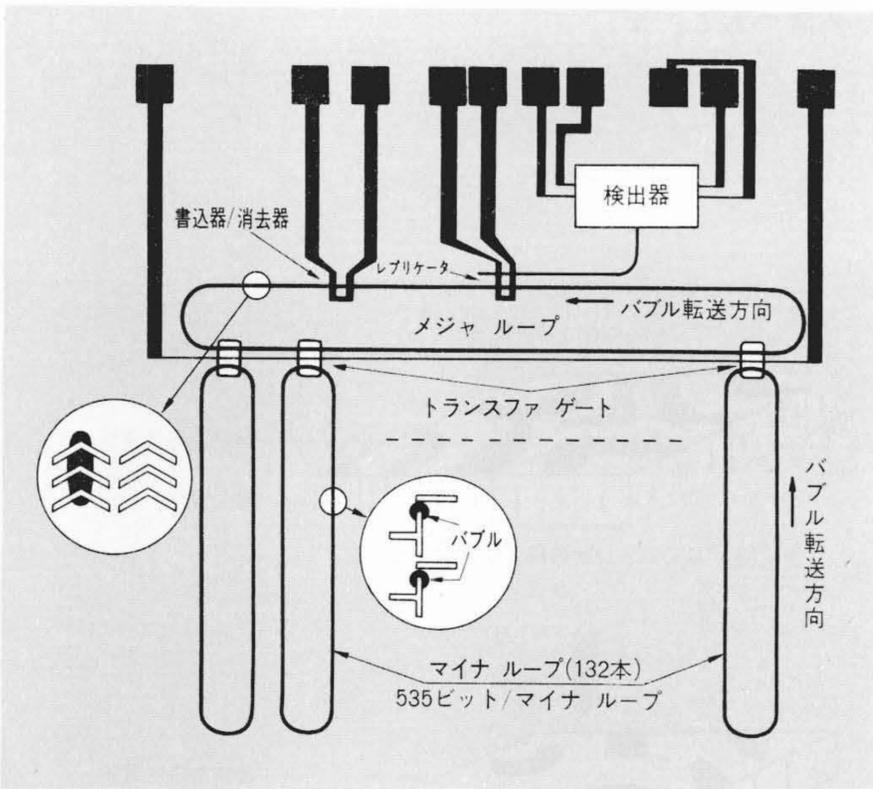


図2 64kビットメジャマイナーループ方式チップの構成 チップの大きさは5.5mm×6mmである。■部がAl-Cuの導体パターンで、他はパーマロイの転送路である。転送路にはT-バー形とシェブロン形があり、マイナーループはT-バー形、メジャーループは下半分がT-バー形、上半分がシェブロン形である。

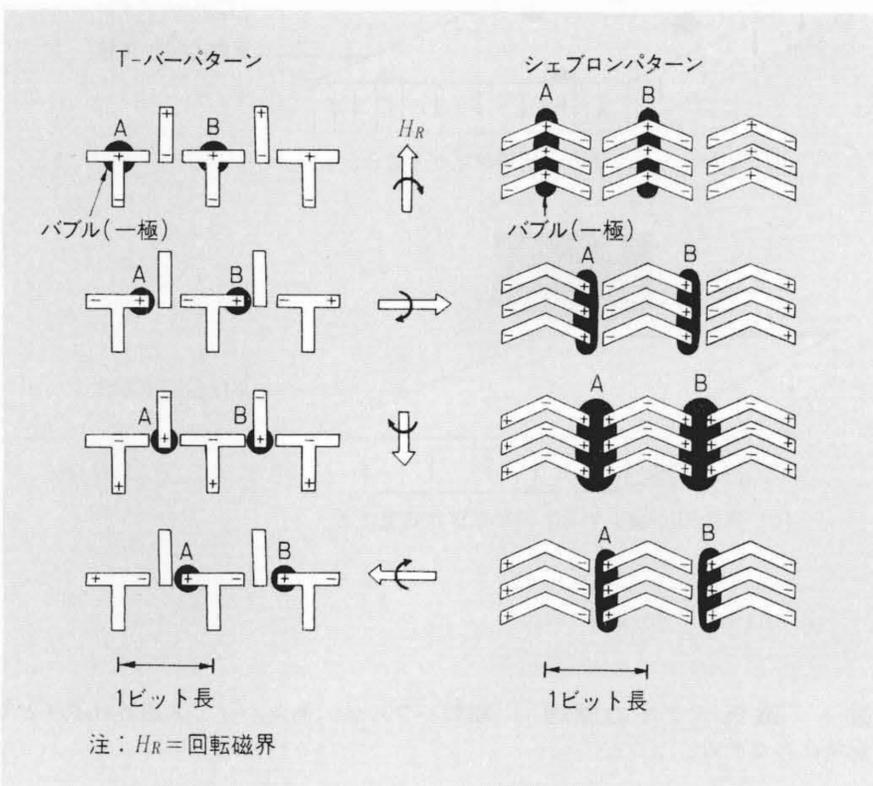


図3 転送路とバブルの転送 バブルの転送は、チップに水平な回転磁界 $H_R$ によって誘起されるT-バーパターン、及びシェブロンパターンの磁極の移動によって行なわれ、回転磁界1回転で1ビット進む。

### 3 磁気バブル記憶の特長

磁気バブル記憶は、図5に示すように、高速の集積回路(IC)メモリなどと低速の磁気ドラム、磁気ディスクなどの間のアクセスギャップを埋めるものとして期待されている。

次に、磁気バブル記憶の特長を示す。

#### (1) 不揮発性

バイアス磁界を永久磁石で与えるため、電源がない状態でも記憶情報が保存される。

#### (2) 非破壊読取

バブルが読取用と再書込用の2個に分割されるので、非破壊読取ができ再書込用のレジスタ類は不要である。

#### (3) 高速性

現在の製品レベルでも平均アクセス時間が5ms(64kビットチップで100kHz駆動時)で、現在の磁気ドラム、磁気ディスクの最高速のものと同程度である。

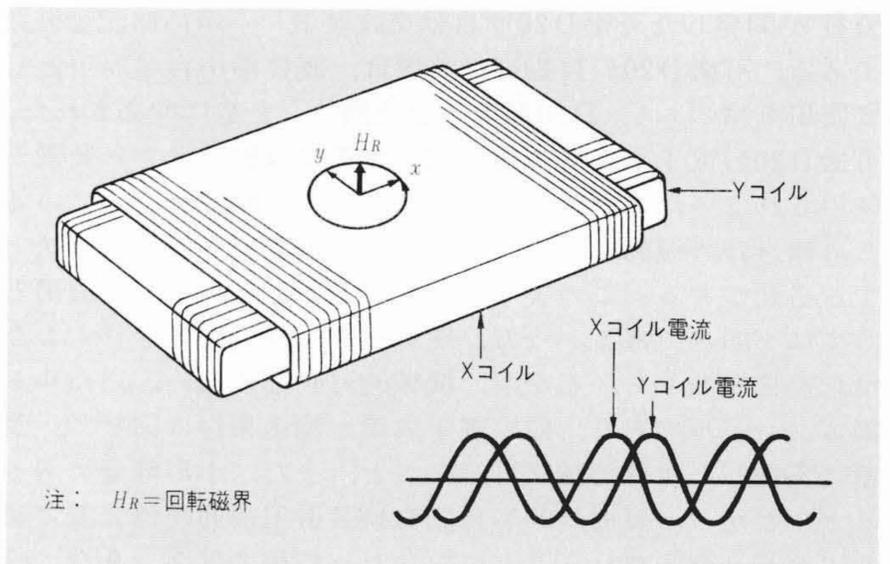


図4 回転磁界の発生 Xコイル、Yコイルに、位相が90度異なる正弦波電流を流すことにより、両コイルの内側に水平な回転磁界 $H_R$ が得られる。

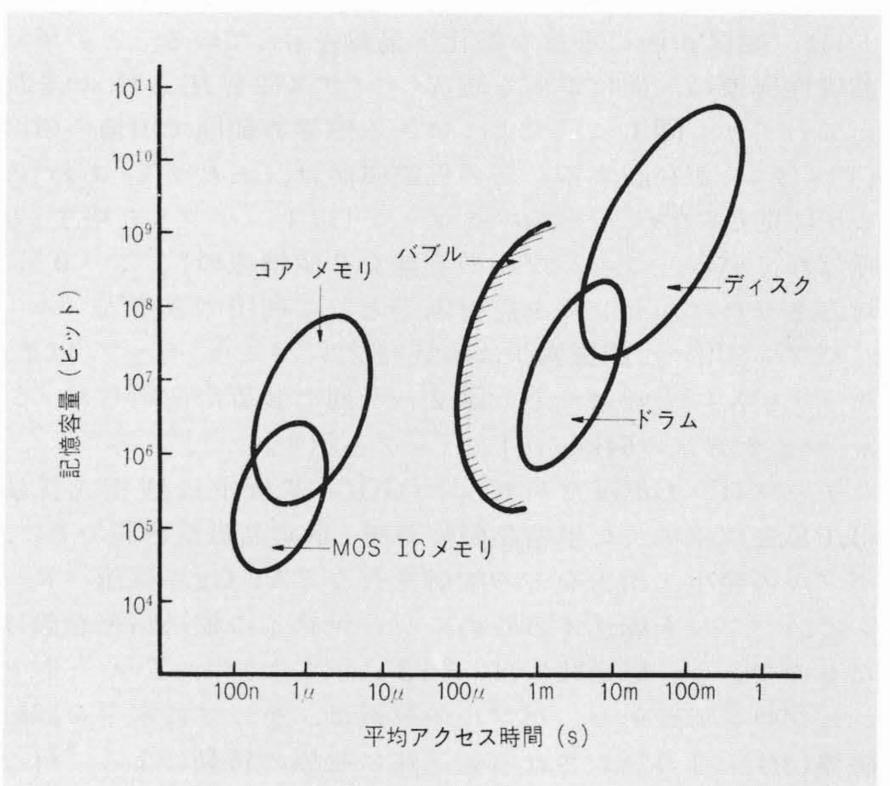


図5 磁気バブルメモリの位置 バブルメモリは、高速のICメモリなどと低速のディスク、ドラムなどの中間のいわゆるアクセスギャップといわれる部分を埋める位置にある。

(4) 経済性

チップの製造プロセスが半導体メモリと比較して簡単で、集積度は半導体メモリの数倍から十数倍と大きく、経済的に装置が構成できる。

(5) 小形軽量・高密度

チップ集積度が半導体メモリの数倍から十数倍と高密度であり、装置の小形軽量化ができる。

(6) 高信頼性

従来の磁気ドラム、磁気ディスクと異なり機械的可動部がないため信頼性が高く、保守面でも事前保守などが不要でなく、一般の電子装置と同等に高信頼性である。

(7) 記憶容量が任意に選べる。

1チップ容量から数億ビットまで、容量が任意に選択でき、増設容量の単位も任意に選択が可能である。

(8) 輸送が容易

機械的可動部のある磁気ドラムなどでは、輸送時、振動対策上、装置からドラム回転体を外し別輸送とする必要があったが、磁気バブルはその必要がなく、装置に搭載したまま輸

表1 磁気バブル記憶装置の主な仕様 磁気バブルは増設単位を小さく、かつ経済的な増設ができ、輸送条件も簡単で経済的である。

項目	仕様	
	磁気バブル	磁気ドラム
基本容量 Mビット	8.91	8.91
増設容量 Mビット	4.46	8.91
交換単位 Mビット	2.23	8.91
アクセス時間 ms	5	10
データ転送レート Mビット/s	1.7	1.7
エラーレート	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-9</sup>
語構成 ビット/2語	32+2パリティ	32+2パリティ
輸送条件	架実装のまま	別輸送

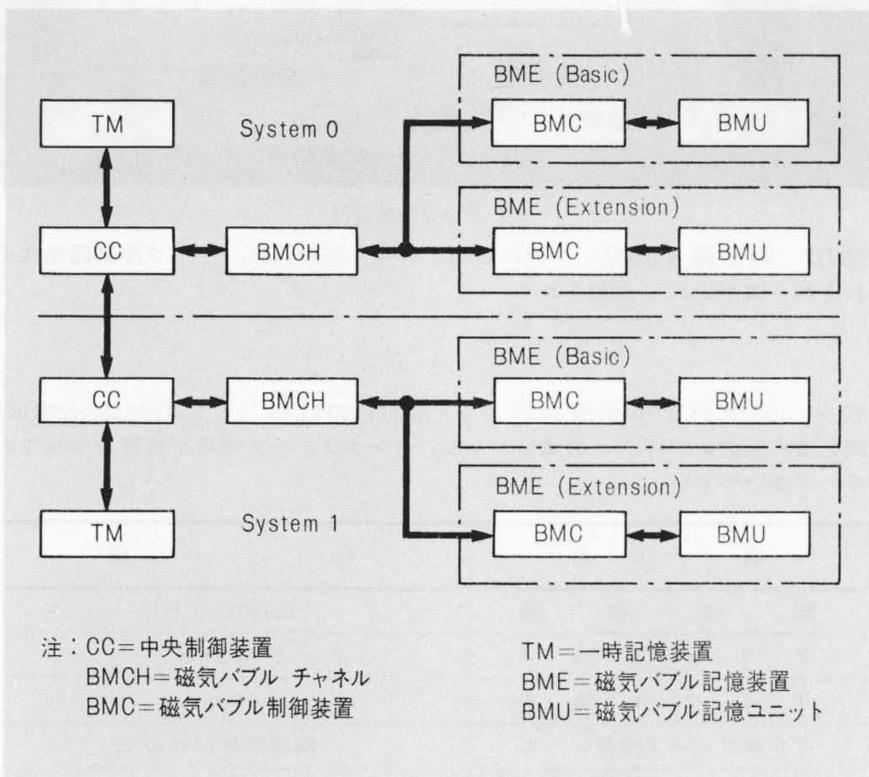


図6 中央処理系での磁気バブル記憶装置の位置 BMEはBMCHを介してTMとの間でデータの転送を行なう。

送ができ、据付先での再組立作業などは不要である。

(9) 動作温度範囲が広い。

-10~+40°C以上の周囲温度範囲で動作が可能で、情報保存は-40~+70°Cぐらいの間保証される。また、機械的位置合せ部がないので、周囲温度の急変にも強い。

4 12Mビット磁気バブル記憶装置

4.1 装置概要

12Mビット磁気バブル記憶装置は可搬D20形自動交換装置の補助記憶装置で、中央処理系のなかで図6に示す位置にあり、交換装置では二重化のため二式使用されている。磁気バ

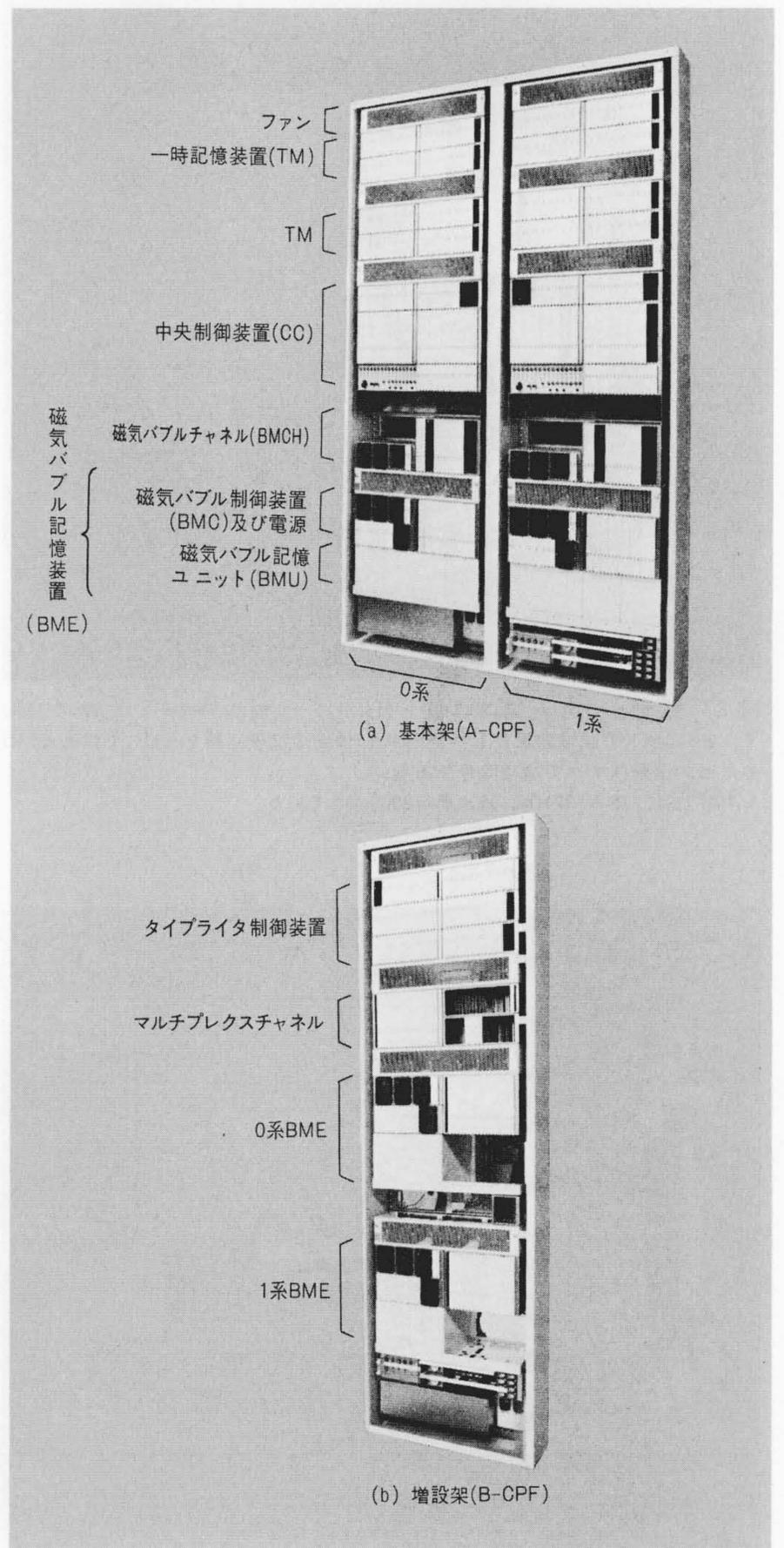
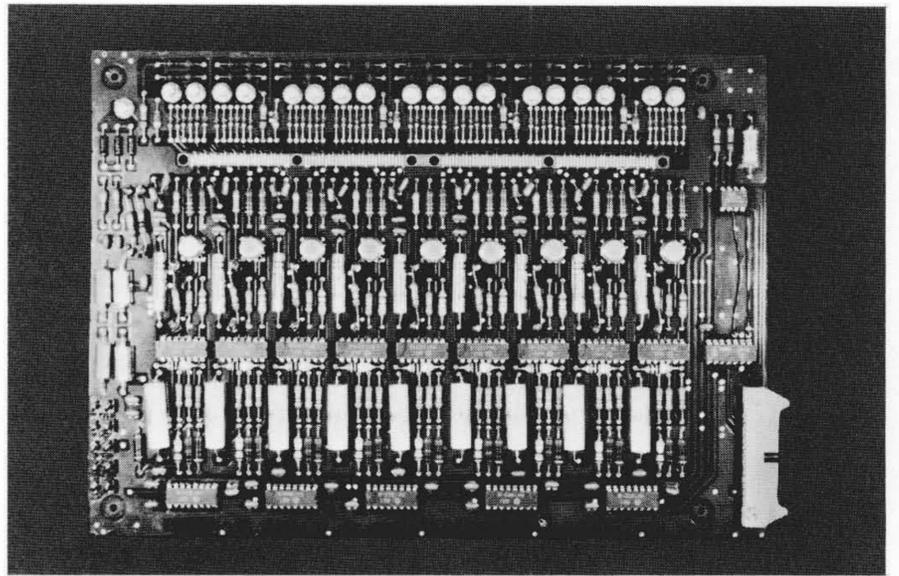


図7 中央処理系装置 バブルメモリは基本架に512k語(約9Mビット)二式、増設架に256k語(約4Mビット)二式が搭載される。なお、架の高さは2,130mmである。

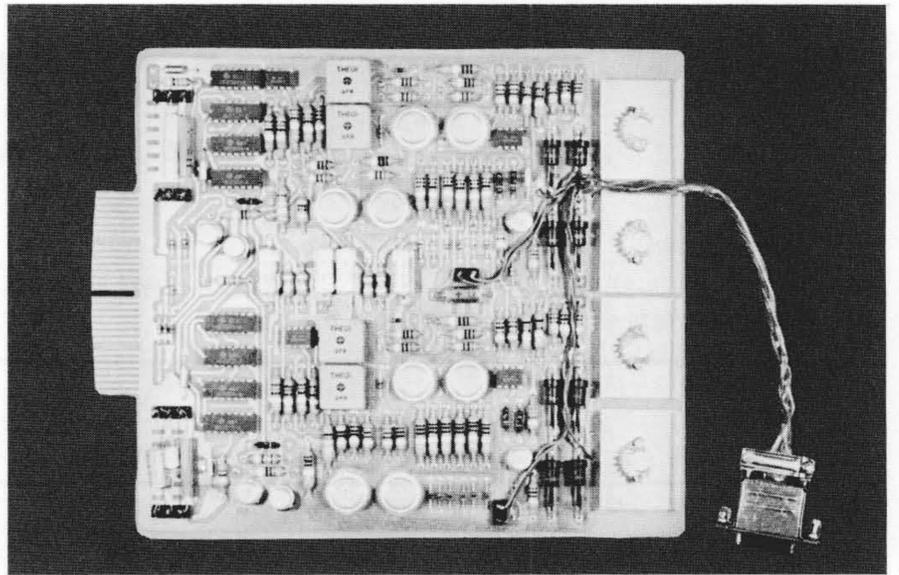
ブル記憶装置の設計条件は、既設計のD20形電子交換機のチャンネル装置とソフトウェアが使用できることであった。主な装置の仕様を磁気ドラムと対比して表1に示す。

磁気バブル記憶装置(BME)は、磁気バブル記憶ユニット(BMU)、磁気バブル制御装置(BMC)及び電源から構成され、磁気バブルチャンネルを介して中央制御装置(CC)に接続される。

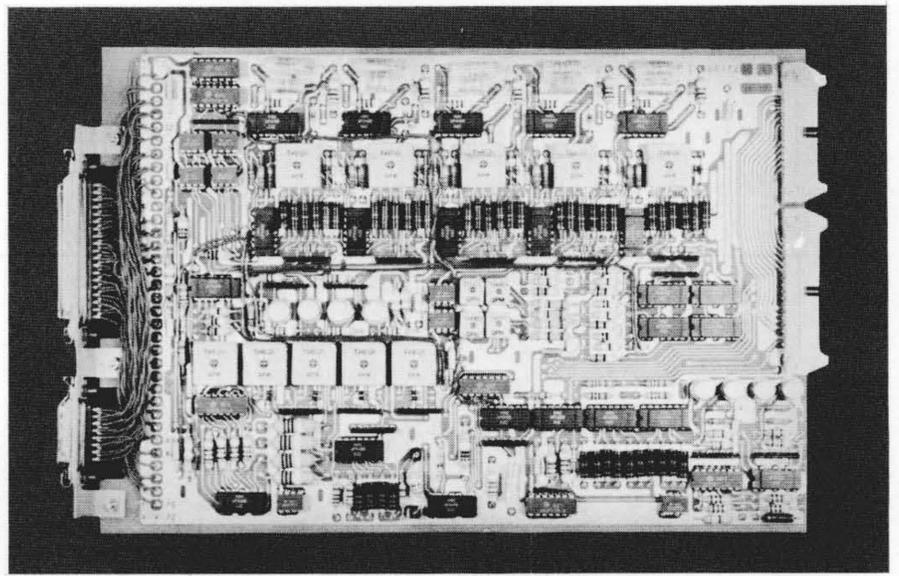
図7に中央処理系装置の実装を示す。中央処理系装置は、基本架(A-CPF)と増設架(B-CPF)から成る。A-CPFには基本容量512k語(8.91Mビット)、B-CPFには増設容量256k語(4.46Mビット)をそれぞれ二式搭載している。



(a) 読取回路



(b) コイル駆動回路



(c) チップ駆動回路

図10 周辺電子回路 読取回路、コイル駆動回路、チップ駆動回路それぞれ2枚がBMUに搭載される。

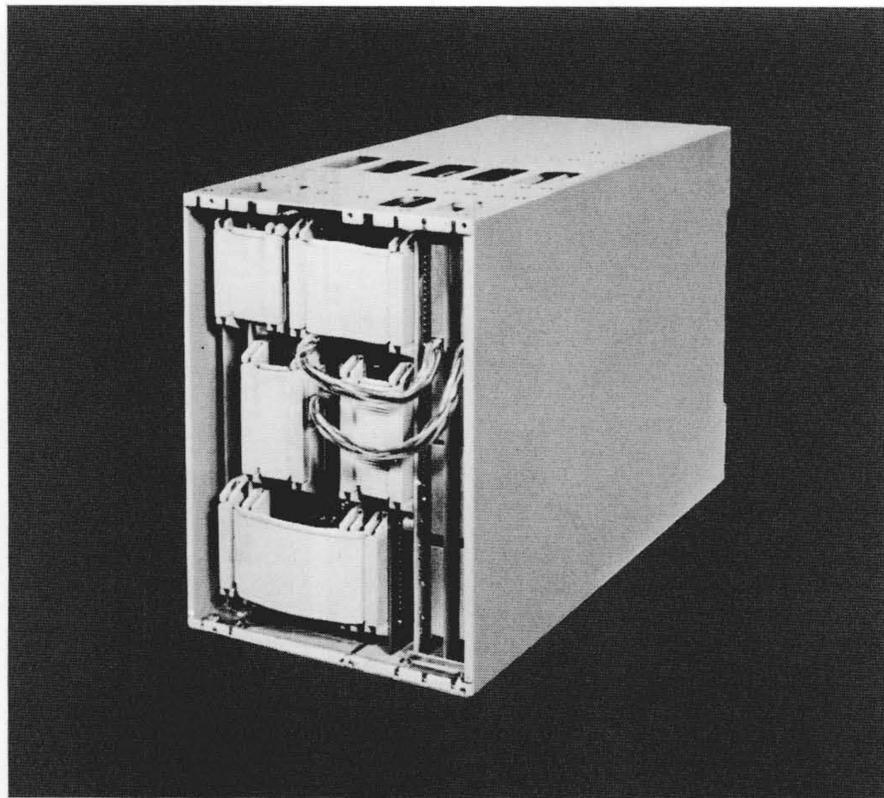


図8 磁気バブル記憶ユニット(BMU) 前カバーを外した状態のBMUで、2Mビットの記憶容量をもつ。BMUには周辺電子回路を内蔵しており、BMUの入出力信号はすべて論理信号である。なお寸法は、高さ192×幅135×奥行300(mm)である。

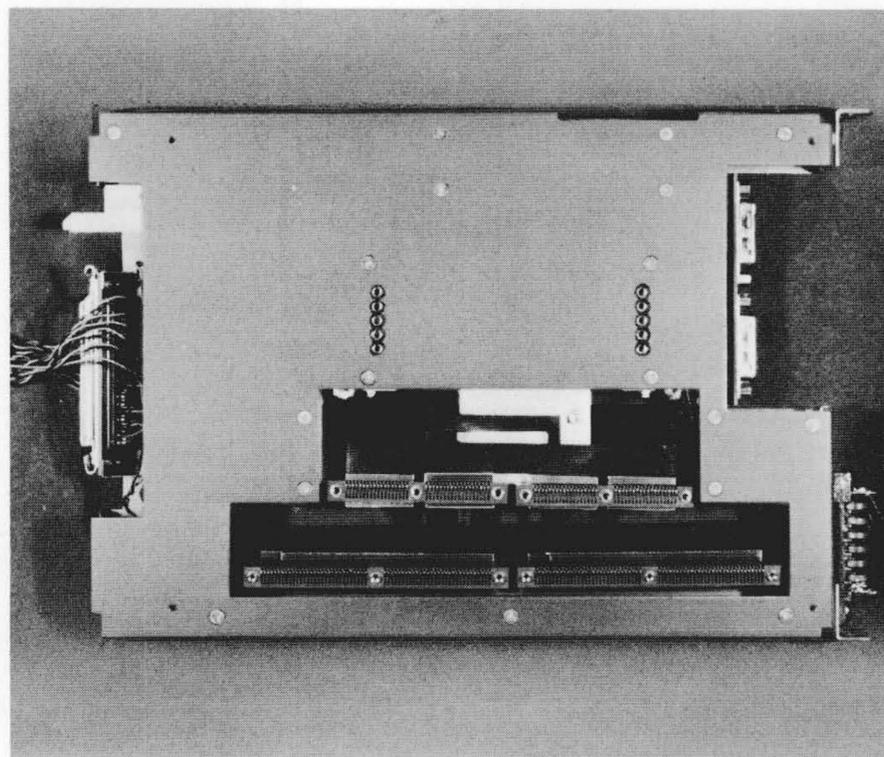


図9 磁気バブル記憶モジュール 2Mビット磁気バブル記憶モジュールで、回転磁界発生用X、Yコイル二式、64kビットチップが40個実装されている。寸法は、高さ約190mm、奥行約260mmである。

表2 磁気バブル記憶ユニット(BMU)の仕様 このBMUの仕様は、回転磁界周波数が100kHzの場合である。インタフェース信号が論理レベルであるので使いやすい。

項目	仕様
記憶容量	2.2Mビット
アクセス時間	平均5ms
サイクル時間	10ms
インタフェース信号レベル	論理信号レベル
消費電力	19μW/ビット
重量	7.6kg
大きさ	高さ192×幅135×奥行300(mm)

## 4.2 磁気バブル記憶ユニット(BMU)

BMUの外観を図8に、その仕様を表2に示す。

BMU 1台の記憶容量は128k語(2.2Mビット)で、その構成は図2に示した64kビットの磁気バブルチップ40個を実装した磁気バブル記憶モジュールと(図9参照)、コイル駆動回路、チップ駆動回路、読取回路などの周辺電子回路パッケージ(図10参照)から成り、インタフェース信号はすべて論理信号レベルで、かつコネクタ接続となっている。

次に周辺電子回路について述べる。コイル駆動回路はコイルとコンデンサを用いた並列LC共振回路であり、回転磁界停止時にバブルを定位置に安定に停止させるためのストップ電流を流す回路が付加されている。

チップ駆動回路は、バブルの書込、消去、メジャーループとマイナーループ間のトランスファイン、トランスファアウト、レプリケータなどの各種制御電流パルスを送る回路で、定電流駆動回路形式を採用し、かつ駆動回路の出力短絡障害がチップに波及しないようトランス結合となっている。

読取回路は、前置増幅器、直流再生回路、主増幅器及び弁別器から構成されている。

## 4.3 磁気バブル記憶装置(BME)の動作

BMEの機能ブロックを図11に示す。同図のマイナアドレスカウンタは、マイナーループ上でトランスファゲートの位置にあるバブルの番地を示すもので、コイル駆動回路と同期し自律的に歩進する。メジャアドレスカウンタは、メジャーループ上のバブルの位置を示すカウンタで、バブルがマイナーループからメジャーループにトランスファアウトされた時点からカウントを開始する。

BMEの動作は大別して二つに分割される。すなわち、第一はマイナーループのバブルをメジャーループにトランスファアウトするまでの動作で、第二はメジャーループ上でのバブルの読取動作、消去動作、及び書込動作である。次に動作について説明する。

要求アドレスとマイナアドレスカウンタがマッチャで照

合され内容が一致すると、マイナーループのバブルは一斉にメジャーループにトランスアウトされる。同時に、メジャアドレスカウンタはマッチャにより起動され、自律的に歩進を始める(第一の動作)。

次に、レプリケータ、検出器、書込器/消去器の各位置はトランスファゲート位置から一義的に決まるので、メジャーループ上の動作はメジャアドレスカウンタの内容で制御される。すなわち、読取命令では、メジャアドレスカウンタの内容によりチップ駆動制御回路—チップ駆動回路が駆動され、レプリケータでバブルを2個に分割し、1個はデテクタで読み取られ、他の1個はメジャーループ上を転送され、メジャアドレスカウンタの指示でマイナーループに一斉にトランスファインされる。

書込命令の場合には、メジャアドレスカウンタにより、書込器/消去器を駆動するタイミングが与えられる。一方、書き込むべき情報は、磁気バブルチャネル(BMCH)がメジャアドレスカウンタの内容をロケーション情報として監視しており、ロケーション情報が書き込むアドレスと一致すると、BMCHからBMEに送出される。

なお、プロテクトゲートは、誤書込防止用で、書込要求アドレスがプロテクトエリアである場合は書込みを禁止する。

## 4.4 データの読取方法

BMEに格納される情報には、語長が数語でランダムアクセスが行なわれる情報と、語長が1k語単位でブロック転送が行なわれる情報の2種類がある。ランダムアクセスに対しては、BMEは平均アクセスタイムが5ms(磁気ドラムは平均10ms)で十分速い。一方、ブロック転送時には1.7Mビット/sのビット転送レートが要求されるが、この要求転送レートを満足するため、BMEでは読取り時、次のようなビットはめ込み制御と時分割制御を併用している。

### (1) ビットはめ込み制御

ビットはめ込み制御はメジャーループ上に256ビットの情報を存在させ、連続的にバブルを読み取るようにしたものであ

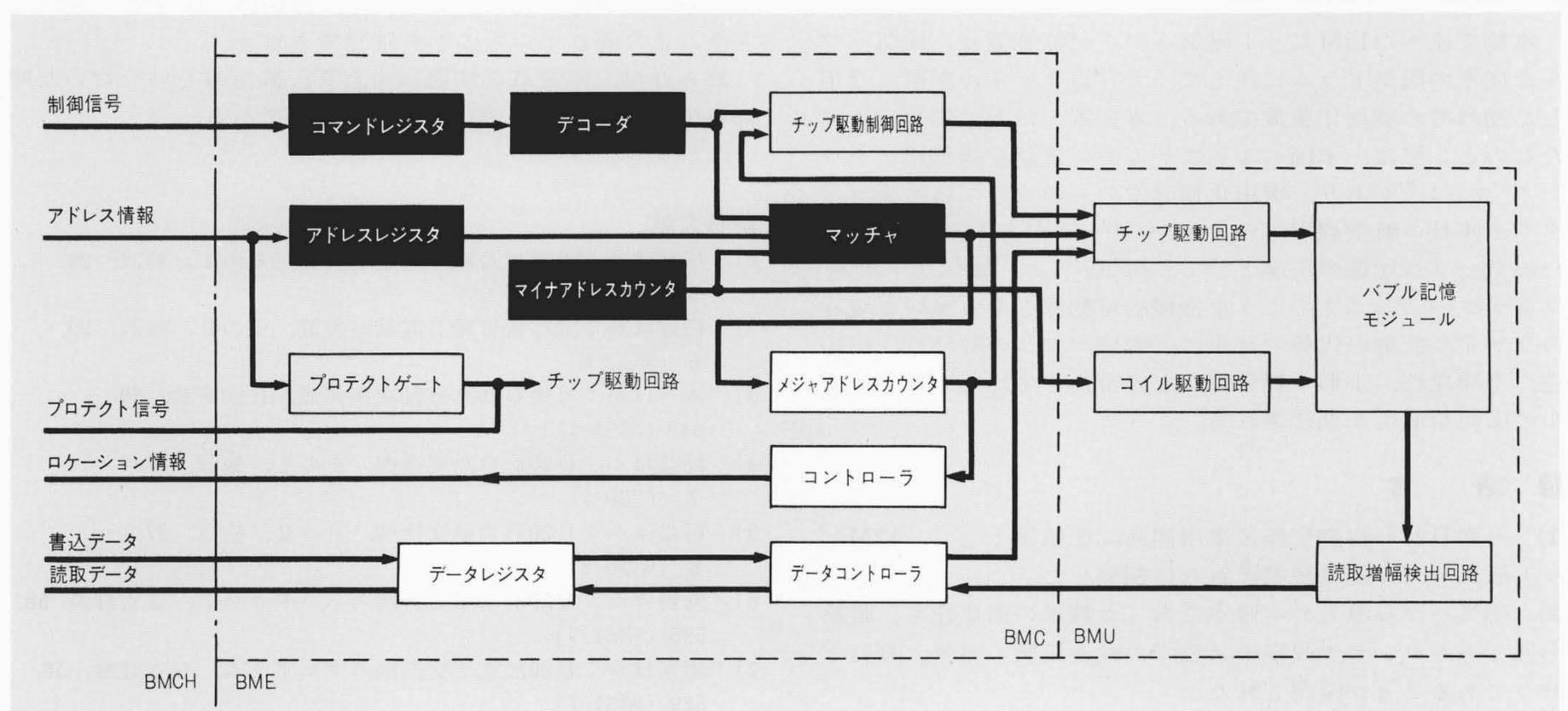


図11 磁気バブル記憶装置機能ブロック図 ■の回路部でバブルをマイナーループよりメジャーループにトランスファアウトするまでの制御を行ない、□の回路部でメジャーループ上でのバブルの分割、消去、書込マイナーループへのトランスファインの制御を行なう。

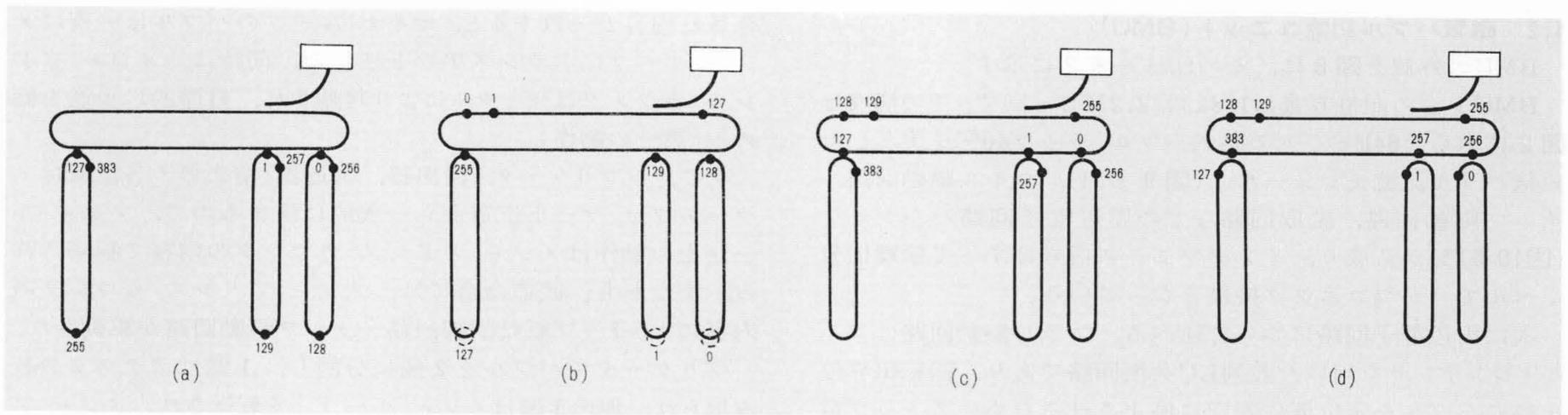


図12 ビットはめ込み (a)数字は番地を示す。0~127番地のバブルをメジャーループに移す。(b)128~255番地のバブルをメジャーループに移す。(c)0~127番地のバブルをマイナーループに戻す。(d)続いて256~383番地のバブルをメジャーループに移す。

る。すなわち、マイナーループ内アドレスを図12(a)のように付与することにより、図12(a)~(b)に示すようにバブルを連続的に読み取ることが可能となる。

メジャマイナーループ方式のチップでは、マイナーループ上では1ビット長(時間で示すと、100kHzの回転磁界で10μs)ごとにバブルが存在するが、メジャーループ上では、メジャーループの2ビット長に対して1本のマイナーループが対応するため、2ビット長ごとにバブルが存在する。したがって、ビット読取速度は1ビット/20μs(100kHz駆動時)となる。

(2) 時分割制御

ビットはめ込み制御により、1ビット/20μsで1チップから連続的なバブルの読取りが可能となったが、要求ビット転送レートは表1に示したように1.7Mビット/sである。

1.7Mビット/sを満足するためには、20μs内に34ビットを読み取る必要がある。本装置では、周辺電子回路を減らすために図13に示すように、34ビットを4分割し、5μsごとに8又は9ビットを読み取っている。

本装置は、上記二つの制御の採用により、要求ビット転送レート1.7Mビット/sを得た。

5 磁気バブル記憶の適用

本稿で述べた12Mビット磁気バブル記憶装置は、磁気バブルを従来の磁気ドラムに代えて、大容量ファイル記憶に適用した初めての实用化装置である。本装置のほかに实用化されたものとしては、米国ベルシステムでの電話交換機用アナウンスマシン<sup>9)</sup>があり、实用化検討中のものとしては米国ロックウェル社の航空機用フライトレコーダがある。

磁気バブル記憶の用途として、磁気ドラム、磁気ディスク、フロッピーディスクのような機械的可動部をもっている現在のファイル記憶の代替のほかに、磁気バブルの経済性、耐振性、不揮発性、小形・軽量性などの特長を生かした磁気バブルの広範な適用が期待される。

6 結 言

- (1) 可搬D20形自動交換装置用補助記憶装置として、12Mビット磁気バブル記憶装置を新たに開発した。
- (2) 磁気バブル導入の主眼点であった輸送の簡単化も、最終形態であるコンテナ収容の状態での輸送試験の結果、期待どおりであることが確認された。
- (3) D20形磁気ドラム用のソフトウェアをほとんどそのまま使うことができ、試験プログラム及び診断プログラムも磁気ドラム用を小修正で使用することができた。また、磁気ドラ

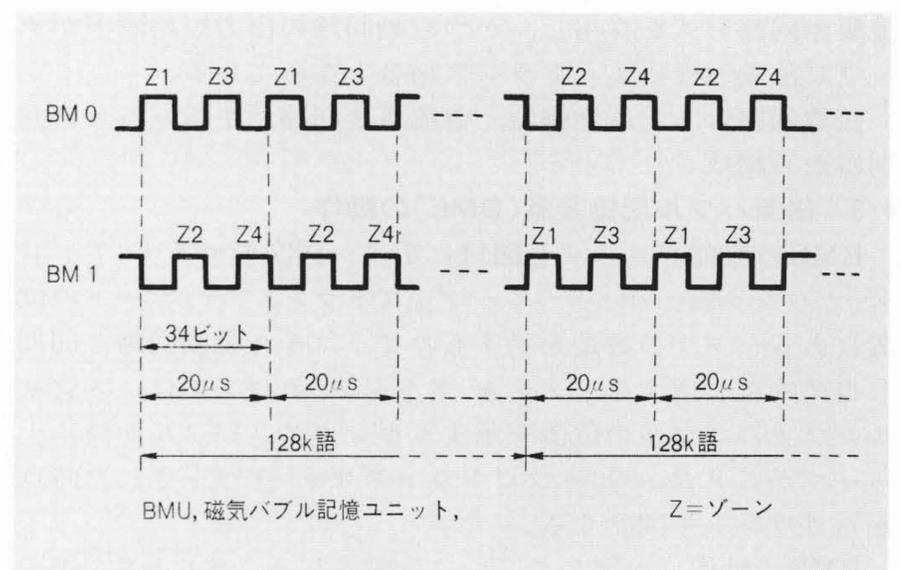


図13 時分割読取 BMU2個を読取時の単位とし、2個のBMUから互い違いに5μsごとに8又は9ビットを読み取る。

ムチャンネルもデータとアドレスのインタフェース線の追加だけであった。

(4) 磁気バブル記憶装置は、磁気ドラムより優れた性能をもっていることを確認できた。また、価格面、保守面でも磁気ドラムより優れていることを確認できた。

終わりに、本装置の開発に当たり、御指導をいただいた関係各位に対して深謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 稲益ほか：大容量可搬形電話局装置，その1，施設，29，5（昭52-5）
- 2) 稲益ほか：大容量可搬形電話局装置，その2，施設，29，6（昭52-6）
- 3) 水芦ほか：可搬D20形自動交換装置，日立評論，59，949（昭52-11）
- 4) 稲益ほか：D20形自動交換機，その1，施設，27，7（昭50-7）
- 5) 稲益ほか：D20形自動交換機，その2，施設，27，8（昭50-8）
- 6) 河野ほか：D20形電子交換機のハードウェア，日立評論，58，595（昭51-7）
- 7) 道家ほか：D20形電子交換機のプログラム，日立評論，58，589（昭51-7）
- 8) A. H. Bobeek, Bell System Technical Journal, 46, p.1901, 1967
- 9) J. E. Geusic, Bell Laboratory Record, 54, p.263, 1976