カラーカメラの IC 化設計

日本電気株式会社 川 崎 満
牛 山 靖 一

カラーテレビカメラのここ数年間の進歩には、目を見張るものがある。これらの技術的根底には、トランジスタから LSI といった電子技術の発展があった。本稿では、筆者らの開発例を示しながら、LSI 化を基盤にした、カラーカメラの小型化、高信頼化設計の現状につき概説する。

1. ま え が き

テレビカメラのここ数年間の進歩には、目を見張るものがある。例えば、放送用分野においては、高性能小型ハンディカラーカメラの出現により小型 VTR、ミニ FPU などの組合せで番組制作の機動性をよりいっそう高め、高画質化や番組多様化に大きく寄与している。一方、ホーム VTR 用カラーカメラにも小型、低価格で、かなりの程度の画質を確保されたものが出現してきて、これからの一大飛躍が期待されている。これらの技術的根底には、トランジスタから IC、LSI ひいては、最近話題になっている超 LSI といったマイクロエレクトロニクスへとつながる電子技術の発展があったことは間違いない。

本稿では、放送用ハンディカラーカメラ、特に筆者らの開発した MNC-60、MNC-70、MNC-80 シリーズハンディカラーカメラを例にとって、LSI 化を基盤とした小型化、高信頼化設計の現状について紹介する。

2. カメラの小型化と高信頼化の要求

1974 年頃、Uマチック VTR の出現に伴って、アメリカの 3 大ネットワークのひとつである CBS により ENG (Electronic News Gathering) の概念と実際の運用が提案された。Uマチック VTR は、本来産業用に開発されたもので、画質的には、放送局用として使用するには、ぎりぎりであるが、重量が約 15 kg という、人間がなんとか持ち運んで運用できるところに大きなメリットがあった。

ENG は、基本的には従来の 16 mm シネカメラに代わってテレビカメラと VTR を組合せたシステムを使用す

ることにあるが、その背景には将来の技術的進歩を見通したうえで、テレビカメラの持つ高画質、即時性といった技術的優位性、さらにオペレーションコストの大幅な低下を期待したものであった。

これに対し、カメラとしては、当初は従来の標準型カメラのレンズ、光学系、撮像管を含む主要部分のみを小型ケースに収納し、ヘッド部とコントロール部分とに 2 分割した形で対応した。この時点では、まだそれほどの小型化、低消費電力化、高信頼化ははかられていない。

1975～1976 年頃、カメラヘッドにすべての機能を盛り込んだ 1 ピースカメラが相ついで発表された。これは重量約 7～9 kg、消費電力約 30～50 W 程度のものであった。この時期にいたって世界各国の放送局は相ついで ENG システムの導入を本格的に検討し始め、16 mm シネカメラに代りうる高信頼、小型軽量のカメラの開発が強く望まれるところとなった。

2.1 小型化と低消費電力化

小型カメラ開発の当初、筆者らが考えていた基本的概念は、回路の低消費電力化と大規模集積化の 2 点である。従来の回路をそのまま小型のハウジングにつめ込んだのでは、温度上昇が激しく、信頼度の低下はもちろんのこと、人間が肩にかついで使用するには不適格なものになってしまう。つけ加えるならば、この種の機器は非常に悪い気象条件下で使われる可能性があるため、防滴、防塵構造を要求され、ほぼ完全密閉構造をとっているが、筐体の大きさが決まると、その中で許容電力はほぼ一義的に決まってしまうといえる。

図 1 に自然空冷による機器の消費電力と温度上昇の関係を示すが、これによれば、カメラの温度上昇を 15℃ に押えるには、単位面積当りの消費電力は 0.010 W/cm² に押える必要がある。したがって 30 W、24 W の消費電力においては、表面積はおおの 3000 cm²、2400 cm² 必

“Design of Color Camera Using Hybrid IC's” by Mitsuru Kawasaki and Yasuichi Uchiyama (Nippon Electric Co., Ltd., Tokyo

図 1 自然空冷による機器の消費電力と温度上昇 (定常時) 条件
(1) 周囲温度 20°C の空間に放置, (2) 筐体仕上げは放射率 0.5 の塗装を行ってある, (3) 箱形の構造をしている

要になる。

MNC-71 型, MNC-81 型カメラは, それぞれ等価的に約 11 cm (W) × 20 cm (H) × 40 cm (D), 10 cm (W) × 20 cm (H) × 30 cm (D) の外形寸法を持っており, 表面積はおおの約 2920 cm², 2200 cm² である。したがって, ほぼ条件を満足していることになる。

低消費電力化の波及効果としては部品の小型化, バッテリーによる駆動時間の延長があげられる。

2.2 ハイブリッド IC 化のメリット

ハイブリッド IC による大規模集積化に期待したものは, 高信頼化, 小型化はもちろんであるが, トータルコストの低減, 回路の標準化, 高性能化にもかなりウェイトをおいて検討した。

なお大規模集積化ということについて若干触れておくと, それまでに回路の標準化と称してビデオアンプ, 入力回路, 出力回路, クランプ回路等の回路の標準化とその一部の IC 化が行われ, すべての回路はこれらの機能ブロックの組合せで実現することが提唱されたが, 入力回路といえども入力回路次段へのインターフェース部を備えた立派なシステムであり, これらを組合せて使用すると冗長性が大きく, スペース的にもコスト的にも信頼度的にもメリットがないことがわかってきていた。

したがって, 従来 1 枚のプリント板を構成していたようなかなり大きな規模の回路機能を, そのまま 1 つの IC として実現することにより, 小ブロック IC の組合せによる欠点を補えると考えた。また, このような IC 化により, 当然のことながら, その IC を使うというこ

とで回路の標準化が実現でき, 新機種の開発にあたっては開発目標が明確にでき, 開発スピードも向上させることができた。

2.3 小型軽量化

人が長時間かついで使用する機器の総重量は 10kg が限度と考えられる。また, 重心位置をできるだけ低く, かつ, かついだときの重心バランスが完全にとれることが必要である。さらに自動車, ヘリコプター等に搭載するときは, 奥行の短いものが要求される。表 1 に移動機器に要求される一般的特性を示す。次に機器の小型軽量化設計について気付いた点をまとめると, 下記の 4 項目になる。

- (1) 容れ物の小型化 (同じ部品を使用しても小さくつめ込めば, それだけ軽量化できる)
- (2) 空間の利用率の向上
 - (a) 部品の高さをできるだけ低く, かつそろえる。
 - (b) モジュールをすきまなくならべる。
 - (c) モジュール間の合理的接続 (マザーボード等)
 - (d) 配線の行き来を最少にする合理的なモジュールの分割。
- (3) 小型軽量部品, 素材の利用
 - (a) マグネシウム合金, チタン合金の利用。
 - (b) 薄肉化。
- (4) 部品数の低減

かなり LSI 化され小型化されたエンコーダーモジュールの重量分析の結果では, プリント板重量が全体の約 1/4 を占め, 一般部品ではコンデンサの重量が大きなウェイトを占めていることがわかった。前者に対しては, 標準の 1.6 mm 厚の基板に対し 1.0 mm ~ 0.8 mm 厚の基板の利用が考えられる。また, これに対応する基板用コネクタの開発が望まれる。後者に対しては, 基本的コ

表 1 移動機器に要求される一般的な特性

項	目	特 性
1	電 源	+12V (マイナス接地)
2	電 力	18W以下 (1.5A以下)
3	使用可能電圧	+10V ~ +15V
4	電池による駆動時間	1時間 ~ 2時間位
5	機器の総重量	10kg以下
6	操 作 性	かついだり, 持ったりしたとき重心のバランスがとれること
7	かつぐ機器の大きさ	幅 110mm以下 高さ 250mm以下 奥行 400mm以下

ンデンサを除去することが必要で、そのためには、±電源系の利用による結合コンデンサの除去、フィードバッククランプ回路を利用した直結回路の利用が考えられる。

2.4 メンテナビリティに対する考え方の変遷

ENG 機材の急速な発展は、電気的な知識のない人々への機材の普及をうながした。このため従来のようなメンテナンスはユーザーが行うという考え方が薄れ、メンテナンスは、専門メーカーにまかせるという気風がかなり大きくなってきた。そのため放送用の機材においても、メンテナビリティよりも小型軽量化、操作性優先の設計が行われるようになってきている。

3. 高信頼化設計のためのアプローチ

図2に回路設計のフローを示す。回路設計の中で、高信頼度設計という観点から留意すべき点をあげると次のようになる。

- (1) 回路の消費電力を極限まで減らす低消費電力化設計。
- (2) 部品点数を低減させる努力。
- (3) 標準部品の選定と標準ディレーティングの決定。
- (4) ハイブリッド IC による大規模集積化の実施。
- (5) 使用する素子自身の信頼度。

これらについて回路設計のフローの順に説明する。ま

図2 小型カメラ開発時の回路設計のフロー

ずスタートとしては、当然、従来使用していた実績ある回路になる。これに新しいアイデアを盛り込んで新しい回路の素案を作る。この際、トランジスタ、ダイオード、抵抗、コンデンサ等の個別部品については、あらかじめ標準部品を選定しておき、それ以外は使用しない方針とするとよい。

筆者の例ではトランジスタについていえば基本的には、2SA711、2SC943、2SC1216の3種、ダイオードについては1S953に限定してしまった。その後、高 h_{FE} の必要性から若干品種は増えているが、半導体については、この4種ではほぼ全体の95%位を占めていると思われる。

こうすることにより、品質管理、発注、手配、購入といった1次的な効果以外に、IC化導入がスムーズに行えるという大きな効果がある。

表2に、本カメラ設計の際、使用したディレーティングの一部を示す。このようなものは、設計担当者全員に周知させ、機器のどの部分ををとっても同じディレーティングで設計されているようにしておくべきものである。

一般電気部品についても進歩ははげしいので、どれを使用するかは部品の動向をよく見きわめて決める必要がある。図3にカメラの周辺における部品の動きを示す。

こうして素案となる回路を決めた後、低消費電力化の観点から見直し、必要があれば実験を行い、さらに討論するということをいくたびか繰返して回路が決定される。この間、積極的な意味での低消費電力化対策としては、信号のレベルダイヤの変更と回路駆動電圧の変更があげられる。

すなわち、従来のビデオ回路においては+20Vまたは $\pm 10 \sim \pm 12V$ の回路電圧で信号の受渡しレベル0.7Vp-pというのが一般的であった。これに対し回路電圧を $\pm 4.5 \sim \pm 6V$ にとり、出力以外の内部の信号の受け渡しレベルは、0.35Vp-pに設定した。

この可能性は、従来の回路においてもダイナミックレンジを決めているのは主にバイアス電流で、回路電圧ではないことから裏づけられる。そして、この変更により回路部分の消費電力はほぼ従来の1/2に低減できるはずである。

次に、ある程度回路が決まった段階で、部品数を低減させるための設計の見直しを並行して進めるとよい。この際、前述したプラス・マイナス両電源の採用を積極的に利用する。すなわち、プラス・マイナス両電源を使用することにより、信頼性のうえでも最も問題のある結合コンデンサの除去やバイアス回路の簡略化が実現できる。こうして、ディスクリート部品による回路が決る。次に、IC化を進めるか否かの検討を行い、否の場合は

素 子			年 代			
			1965	1970	1975	1980
主要素子の動き	撮 像 管	1" PbO	ACT	ダイオードガン		
		Saticon	2/3" PbO			
			Saticon	固体撮像		
	カラー ブラウン管	シャドウマスク トリニトロン	ブラックマトリクス			
	光 学 系	BK-7プリズム				
HIGプリズム リレータイプ						
	ENGカメラ 用 Coil Ass	OUTER FOCUS INNER FOCUS				
I C および底辺の素子の動き	ディスクリート半導体		TR, D, SCR	FET	ショットキーダイオード ピンダイオード	
	IC		一般市販品利用	カスタム IC の利用		
	抵 抗		カーボン	金属被膜, サーマット		
	コンデンサ	セラミック フィルム				積層セラミック
		電解 Al Ta				
	ポリウラム	カーボン			金属被膜, サーマット	
	表 示	電 球			LED	
	リレー スイッチ	機 械 式			電子式	
	プリント板	1.6mm厚 0.8~1.0mm厚				
	接 続	ハンダ付け			フラットケーブル	

図 3 カメラ周辺における部品の動き (工業用品)

表 2 テレビカメラにおけるディレーティング

IC トランジスタ	最 大 定 格 許 容 損 失 コレクタ印加電圧	カタログで規定する最大定格を越えない 最大許容損失の 40% 以下 V_{CEO} の 80% 以下 (抵抗負荷時) V_{CEO} の 40% 以下 (インダクティブ負荷時) I_{Cmax} の 80% 以下
ダイオード 電源トランス	コ レ ク タ 電 流 平 均 電 流 温 度 上 昇 電 圧 変 動 率	60°C における最大定格電流の 70% 以下 40°C 以下 10% 以下
固 定 抵 抗 タンタルコンデンサ 電解コンデンサ フィルムコンデンサ 磁器コンデンサ 線 材	平 均 電 力 印 加 電 圧 印 加 電 圧 印 加 電 圧 許 容 電 流	60°C の最大許容電力の 70% 以下 定格値の 60% 以下 定格電圧の 50~80 % 60°C における定格電圧の 70% 以下 最大定格電流の 30% 以下

そのまま最終回路になる。IC 化をする場合は、どの部分まで IC 化をするかを、パッケージの入出力端子との兼ね合い、他の回路との共用性、回路規模の点から、決める必要がある。筆者らが使用した最大の IC パッケージは、 $50 \times 44 \text{ mm}^2$ のもので、足ピンは 70 p のものであ

る。歩留りの点からもこの位のものが最大規模となる。

IC 化の範囲が決ると、次は IC 化のための設計見直しを行う。これは例えば、 $0.1 \mu\text{F}$ 以上の大容量コンデンサの排除、入出力端子につながる回路の破壊防止対策、ばらつきに対する検討、外付部品を最少にする検討、消

表 3 少量生産時における各種 IC の比較

比較項目		I C		
		モノリシック (M)	ハイブリッド (H)	
			厚 膜	薄 膜
性 能	大きさ 重 量 電氣的性能	○ H とほぼ同じ ○ やや軽い △ 普通	○ M とほぼ同じ ○ 軽い ○ 高規格のものも作れる	○ M とほぼ同じ ○ 軽い ○ 高規格のものも作れる
	信頼性	○ ハイブリッドの10倍程度良い	△ 良い	△ 良い
	保守性 設計変更の容易さ 量産性	× 不可能 × 非常に悪い ○ 非常に良い	○ 可能 △ やや悪い △ 良い	○ 可能 △ やや悪い × やや悪い
価 格	開発コスト	× 1,000 万円以上 (H の約 10 倍)	△ 数十～数百万円	△ 数十～数百万円
	IC のコスト	× 数百～1,000 個のロットでは非常に割高になる △	△ 1,000 個ぐらいのロットでも IC 化のメリットが充分にある	△ 厚膜 IC より 20～50% ぐらい高い
開納 発期		× 10～18 カ月	○ 4～6 カ月	○ 5～7 カ月

費電力配分, セラミック基板上の温度傾斜に対する検討などである。こうして最終回路が決定される。

4. 回路のハイブリッド IC 化設計

放送局用のテレビカメラは年間 200 台～300 台程度の生産を行っている機種であり, 非常に中途半端なロット規模で, このような機種に対するモノリシック IC によるカスタム IC の利用は, 経済的效果を考えた場合ほとんど不可能といわざるを得ない。

これに対して, ハイブリッド IC 化は, 経済的にもひきあう以外に, ライフサイクルの短い機種への対応性が良い, 開発納期が短い, 回路設計者が行うディスクリート部品でのボード実験の結果が IC 化されたときによく再現される, 等のメリットがある。次に, これらに関して詳細に述べる。

4.1 厚膜 IC と薄膜 IC

表 3 に放送機器等の小ロット生産時の各種 IC の比較を示す。厚膜 IC と薄膜 IC の差は, 抵抗値範囲と精度および安定性, 信頼性, 最高周波数, 量産性にあると考えられるが, 応用範囲を映像機器に限った場合, 抵抗値に関する要求は抵抗値範囲数 Ω ～数十 $k\Omega$, 精度 $\pm 5\%$ 程度, 温度係数 $\times 100$ PPM, 最高使用周波数はせいぜい 30 MHz 程度であり, 後述するように信頼度は主に搭載部品で左右されるとすれば, 結局, 両者の差は量産性 (価格) の差のみになってしまう。したがって, 特殊用途として非常に高精度, 高安定性が望まれるものについては薄膜 IC を利用し, その他は厚膜 IC で構成するのが良いと考えられる。

4.2 IC 化による小型化

IC 化により個別部品でユニットを組んだ場合と比較して, リニア回路の場合 $2/3 \sim 1/2$, デジタル回路の場合 $1/2 \sim 1/3$ に小型化できる。

4.3 ロットサイズと価格

図 4 からわかるように, 経済性から考えた場合, 最少ロットとして 50 個は必要である。経済性を無視すれば数個の生産も可能であるが, この場合はむしろ薄膜の方が有利である。一般的に 50 個ロット程度では, 厚膜 IC と薄膜 IC の価格が同程度になる。

厚膜 IC の場合, 50～10,000 個程度のロット範囲で倍のロットに対し, 0.85～0.80 ほどの価格低減率で下るのに対し, 薄膜 IC の場合は 0.88 程度といわれているが, 筆者らの経験では, この低減率はやや高い値を示した。なお厚膜 IC に適したロットサイズは, 1,000～10,000

図 4 各種 IC のロットサイズと価格比

個程度と考えられる。すなわち 50 個程度のロットでは基板を作る際にペーストを捨てる方が多くなり、2～5 万個以上では価格的に飽和する傾向にある。

放送局用の映像機器を IC 化する場合、その部分を通信工業部品を使ってまとめる場合の個別部品の合価を 1.0 とすれば、組配、検査を行って付加価値を加えた後の価格は約 2.5 となっている。図 4 より、厚膜 IC の場合 1,000 個ロット程度で価格的にもメリットが出てくるのがわかる。

なお開発コストは、ハイブリッドの場合、20～30 万円から 200～300 万円かかるのに対し、モノリシック IC では 1 桁上の、少なくとも 1 品種 1,000 万円以上必要とする。

4.4 基板サイズと収納素子数

通常、IC メーカーは独自のパッケージを持っており、それらをそのまま利用するのがコスト的にも有利であ

る。したがって、あるパッケージ内にどの程度の素子が収納でき、回路のどの部分をあてるかを予測する必要がある。

IC の基板の大きさとしては、熱膨張係数、機械的強度、歩留りの点から、50 mm×50 mm 程度が最大であろう。これ以上になると、サーマルショックによる基板の亀裂等の問題を生じる。

IC の歩留りも、40 mm×20 mm 以下のパッケージでは 97% 程度であるが、50 mm×44 mm になると 88～89 %と下っており、この点からも 50 mm×50 mm 程度が限度と考えられる。50 mm×44 mm のパッケージにリニア回路の場合、最大 250 素子、ディジタル回路の場合、TTL 40～50 素子程度収納できる。たとえば抵抗 130、IC 10、トランジスタ 50、ダイオード 40、コンデンサ

表 4 部品面積および取付面積 (厚膜 IC の場合)

品 種	備 考	素子面積 (mm ²)	パッド面積 (mm ²)	
ロジック IC	SSI	2.3	3.0	
ロジック IC	MSI/LSI	5.1	6.4	
リ ニ ア IC	レギュレータ	5.1	6.4	
リ ニ ア IC	OP ア ン プ	2.0	2.7	
リ ニ ア IC	デュアル OP	3.6	4.6	
トランジスタ	小 信 号 用	0.3	0.6	
トランジスタ	大 信 号 用	0.6	1.0	
トランジスタ	パ ワ ー 用	4.1	5.0	
FET	小 信 号 用	0.3	0.6	
ダイオード	小 信 号 用	0.3	0.6	
厚 膜 抵 抗	$R \geq \pm 5 \%$	0.6	2.3	
	$\pm 5 \% > R > \pm 2 \%$	1.0	2.7	
	$\pm 2 \% > R$	2.3	4.8	
チ ッ コ ン デ ン サ	BX 型	NPO 型		
	150～8200 p	1～ 160 p	2.5	3.4
	300 p～0. 047μ	4～ 910 p	6.3	7.5
	2200 p～0. 068μ	36～1300 p	9.0	10.7
	0. 01μ～0. 33μ	150～6800 p	35.3	38.3

表 5 薄膜 IC の面積

	抵 抗 値 (Ω)	占 有 面 積
薄 膜 抵 抗	～ 50	3.7
	50～250	5.8
	250～1k	1.2
	1k～10k	2.8
	10k～50k	10.0
厚 膜 チ ャ ッ プ 抵 抗	～450 k	1.6
	～820 k	2.4
	～1.2 M	3.1
	～2.0 M	4.7

図 5 (a) 厚膜ハイブリッド IC の開発フロー

表 6 カ メ ラ 用 ハ

用 途			PRE AMP			PROCESS		ENCODER			
品 名			HEAD AMP	PRE AMP	PRE AMP	PROCESS	PROCESS	Y-VIDEO	Y-VIDEO	CHROMA VIDEO	BAR GEN
パッケージ寸法 (MAX) (mm)			7.5×5.5	55×27	55×27	50×29	50×44	25×25	32×19	50×29	42×21
素子数	IC	リ ニ ヤ ー	0	0	0	2	7	0	0	2	0
		デ ィ ジ タ ル	0	0	0	0	0	0	0	4	5
	ト ラ ン ジ ス タ		1	11	10	29	50	25	25	27	10
	ダ イ オ ー ド		0	0	0	15	33	9	9	5	0
	抵 抗		2	32	30	73	113	50	50	83	28
	コ ン デ ン サ		1	17	16	8	13	5	5	7	7
素 子 合 計			4	60	57	127	216	89	89	130	50
厚 膜 ／ 薄 膜			厚	厚	厚	薄	厚	薄	厚	薄	厚
ピ ン 数			特 殊	特 殊	特 殊	70 P	70 P	30 P	30 P	70 P	30 P

- ① セラミック基板受入検査
- ② 抵抗体、導体の印刷、焼成
- ③ 抵抗体トリミング
- ④ 抵抗体検査 (抵抗値)
- ⑤ 洗浄、乾燥
- ⑥ 厚膜基板試験 (抜取による引剥し強度)
- ⑦ 外観検査
- ⑧ リードピン取付
- ⑨ ダイボンディング、コンデンサ取付
- ⑩ ワイヤボンディング
- ⑪ 外観検査
- ⑫ 強度試験 (抜取ボンディング)
- ⑬ ジャンクションコーティング
- ⑭ 高温エージング (TR の安定化)
- ⑮ 電気的特性 (25°C) 検査
- ⑯ 外観検査 (ワイヤー倒れ、チップコンの取付)
- ⑰ 封止 (ケース取付)
- ⑱ 洗 浄
- ⑲ 外観検査
- ⑳ 電気的特性検査
- ㉑ 温度サイクル試験 (-55°C ~ +125°C 10 サイクル) (ボンディング不良の発見)
- ㉒ 定加速度試験 (2,000 G) (シールの弱い所を見い出す)
- ㉓ 密封度試験 (グロスリーク)
- ㉔ 電気的特性検査
- ㉕ パーンイン試験 (120 ~ 240 hr)
- ㉖ 電気的特性 (最終確認) 検査
- ㉗ マーキング
- ㉘ 完了, 出荷

図 5 (b) 厚膜ハイブリッド IC の製造フロー

20 程度である。

次に、厚膜 IC の場合の予測方法を記す。まず、基板

の有効面積 S を調べ、次に表 4 を使用して収納したい素子のパッドの総面積 S' を求め、 S'/S が 35% 程度であれば充分実装可能で、50% 程度になると実際にパターンの詳細設計をやってみないと判断ができない。60% 以上の場合は通常は実装が困難であるが、多層化すれば可能の場合もある。

なお、基板の面積から、ケースとの接続部分、リードの取り出し部分を去除くと、実際にパターンとして利用できる部分は、基板のせいぜい 60% ~ 70% である。すなわち基板のサイズが 25 mm × 25 mm の場合、実際に有効に使える部分は $25 \times 25 \times 0.6 = 375(\text{mm}^2)$ 程度と考えればよい。

薄膜 IC の場合は、抵抗体の占有面積を表 5 に置き換えることにより推定できる。なお、この場合、50 kΩ 以上の抵抗はチップ抵抗を利用する。

表 4 から、実装密度を上げるには、抵抗値の許容差をゆるくし、消費電力を小さく、コンデンサはできる限り小さく、入出力のピン数を少なくする必要があることがわかる。なお、許容電力としては、40 mm × 20 mm の基板に対して 2 W 程度とれる。表 6 に筆者らの開発した IC を示す。図 5 (a) (b) にハイブリッド IC の開発フローと製造フローを示す。

5. 信頼性とその管理

5.1 ハイブリッド IC の信頼度

回路設計とパターン設計が適切に行われたハイブリッド IC の故障率は、通常 MIL-217 B に従って算出する。これによれば、IC の故障率 λ_P は次式により求められる。

$$\lambda_P = \{ \sum N_C \lambda_C \pi_G + [N_R \lambda_R + \sum N_I \lambda_I + \lambda_S] \pi_F \pi_E \} \pi_Q \pi_D$$

(故障/10⁶ 時間)

イ ブ リ ッ ド I C

SYNC						DEF	IMAGE SHARPNER				
COUNT- ER-(1)	COUNT- ER-(2)	PULSE AMP	SHADIG GEN	SYNC -(1)	SYNC -(2)	CURR- ENT AMP	MOD	DEM	OUTPUT	H- EDGE	V- EDGE
32×19	42×21	32×19	42×21	50×44	50×44	23×13	42×21	42×21	32×19	32×19	42×21
0	0	0	4	4	0	1	1	1	1	0	0
10	16	0	0	20	30	0	0	0	0	0	0
0	0	10	4	12	8	2	16	7	16	17	16
0	4	4	0	3	7	2	4	4	8	9	10
6	9	30	41	69	31	11	47	26	35	37	42
5	0	4	2	12	13	1	12	6	7	3	4
21	29	48	51	120	89	17	80	44	67	65	72
厚	厚	厚	厚	厚	厚	厚	厚	厚	厚	厚	厚
22P	30P	22P	30P	70P	70P	16P	30P	22P	30P	22P	30P

ここに $\sum N_c \lambda_c \pi_G$ は、基板に搭載する素子の故障率の合計で、 N_c は素子数、 λ_c は素子自身の故障率で、温度と環境条件に依存する。 π_G はチップによる係数を示す。 $N_R \lambda_R$ は基板の抵抗体の故障率を示し、 N_R は抵抗体の数、 λ_R は抵抗体の故障率を示す。 $\sum N_I \lambda_I$ は内部接続（ダイボンディングを除くボンディングの合計）による故障率の合計で、基板の面積と周囲温度に依存した値になっている。 π_F は回路がリニアかデジタルかという機能の差による係数で、リニアに対し 1.25、デジタルに対し 1.0 の値をとる。 π_E は使用条件による環境係数で、地上固定の場合 1.0 の値をとる。 π_Q はスクリーニングの程度に依存する品質係数で、クラス B に対しては 1.0 の値をとる。 π_D は回路の複雑さに依存する係数で、 $\pi_D = 0.2 + 0.15 \sqrt{\text{内部接続}/(\text{基板面積}(IN)^2 + 0.1)}$ で計算される。筆者の設計したプロセス IC（パッケージサイズ 50 mm×44 mm の厚膜 IC で、内蔵素子合計 216、内訳 IC 7、トランジスタ 50、ダイオード 33、抵抗 113、コンデンサ 13）の信頼度を 25℃、地上固定の条件の下に算出すると、

$$\lambda_P = 1.514 = \{0.9428 + [0.0170 + 0.0398 + 0.0481] \times 1.25 \times 1.0\} \times 1.0 \times 1.41$$

となり、MTBF は 66 万時間ということになる。この計算に用いる係数をまとめると表 7 になる。この結果からもわかるように、規模の大きいハイブリッド IC については、組込みコンポーネントの故障率が支配的であることがわかる。

また厚膜か薄膜かといった構成による差は、信頼度の計算上現われて来ない。このことは、実績としても確認されている。

ディスクリート部品を使用して同様の回路を構成した

表 7 信頼度予測に使用する係数

	π_G	N_c	λ_c	ディスクリート部品としての故障率
IC	0.6	7	0.05~0.100	0.13
TR	0.4	50	0.01~0.02	0.13
D	0.2	33	0.004~0.006	0.13
コンデンサ	0.8	13	0.008	0.05

	N_R	λ_R	ディスクリート部品としての故障率
抵抗	113	0.00015	0.05

	N_I	λ_I	ディスクリート部品としての故障率
接続点	229	0.000174	0.0025

	λ_S
パッケージ (50×44 mm ²)	0.0011

(注) 単位：故障/10⁶ 時間

場合の故障率を、表 7 のディスクリート部品としての故障率の値を使用して求めると 18.9 となり、10 倍以上信頼度が低下することがわかる。なお IC の信頼度は 25℃、地上固定の条件に対し、60℃ では約 1/2、地上移動に対しては約 1/3 低下するが、これは装置の信頼度を算出する場合の K ファクターを含めて検討すべきである。

なお最近、MIL-217 B が 217 C に改訂されたとの話もでているので、計算方法の詳細については別途検討する必要がある。

筆者らの設計した機器において、一般的に信頼度は IC 単体で考えた場合は、個別部品で構成した場合に比較して 1 桁程度向上するが、装置全体で考えた場合は 3 倍程度の改善になっている。良く設計された IC の信頼

写真 1 大規模 IC の一例

度を最終的に決めるのは、スクリーニングや出荷検査である。

トランジスタチップによっては、ワイヤボンディング後 h_{FE} 低下が見られるものがあり、これは高温にて 100 時間ほど放置すると回復し、その後の変化は微少である。したがって、ハイブリッド IC 組立後、少なくとも 100 時間以上スクリーニングを実施する方が良い。

筆者らの取扱っているものは、現在、全数高温 (80°C) および低温 (−20°C) 通電試験を合計 150 時間、−55°C、+125°C の温度サイクル試験は各 10 分間で 10 サイクル以上、遠心加速試験は 2,000G にて実施し、初期不良の発見に努めている。大規模な IC の例を写真 1 に示す。

5.2 IC の保守性について

ハイブリッド IC は、構造上、セラミック基板に組立後、樹脂モールドするタイプと、金属キャップに封入するタイプの 2 つに分類される。後者は、比較的高価な IC に適用されている構造であるが、この種のものは故障の際、開封して調査し、チップ不良やボンディング部の事故に対しては、修復後シールして再使用できる利点がある。特に 1 個数万円以上する IC の場合、これはハイブリッド IC の大きな利点のひとつになる。

5.3 市販モノリシック IC の信頼性管理

一般に同じ品種の IC に対しても、民生用 IC、通工用 IC、MIL 規格 IC に分類されている。データシートから見る限り、その差は下記の 3 点にあると思われる。

- ① 使用温度範囲の広さ
- ② 特性のばらつきと電源に対する余裕度
- ③ パッケージ (プラスチック/セラミック)

しかしながら、ペレット自身は区別して作っているわけではないので、その差はもっぱらスクリーニングの差になっている。これが価格差になって現われ、一般用では 70~80 円の TTL IC も MIL 規格品になると 2 桁

程度価格が違うことになる。

一般用の IC は通常 0.2%~0.5% 程度の不良率を予期しておかないとだめなようで、一般用 IC を価格面から使用しなければならない場合は、受け入れ時点でのユーザー側の IC のスクリーニングが是非必要となる。小規模の生産の場合は、プリント板として組上った段階で行うことも可能であるが、大規模な生産に対しては、IC 自身の事前のスクリーニングが是非必要である。スクリーニングは主に次の 3 つの方法によって行う。

- ① 温度サイクル これは低温 (−55°C~−35°C) と高温 (125°C~150°C) にて各 30 分間位放置することを 2~3 サイクル繰返して熱衝撃を与え、主にボンディング関係の不良を発見するためのものである。
- ② 高温放置 150°C~175°C (ケースがプラスチックかセラミックかによって異なる) で 24~48 時間位、窒素ガス中に放置するもので、主にペレット自身の特性劣化の発見を行う。一般に 15°C の温度上昇で 2 倍の加速になるといわれており、60°C で約 16 倍、120°C では 256 倍の加速試験を行ったことになる。
- ③ 衝撃落下・加速度試験 これは落下 (たとえば 75 cm の高さから極の板へ 3 回落下させる)、または回転により数百 G~数千 G 相当の加速度を加えて行うもので、ボンディング不良、チップのクラックを発見するために行う。

IC のスクリーニングのフローを図 6 に示す。な

図 6 ユーザーにおける IC のスクリーニング

図 7 従来の標準型カメラ (NC-30) と最新型ハンディーカメラ (MNC-81) の比較

表 8 最新型カメラと従来のスタジオカメラの比較

	NC-30 (従来のスタジオカメラ)	MNC-81 (最新型カメラ)
重 量 (kg)	約 40	約 4.5
消費電力 (W)	約 300	約 24
使用部品点数	5,293	1,734
MTBF (hr)	約 800	約 3,000

お、ここにある電気的特性検査は、いわゆる性能以外に特に消費電流に注意すべきである。現在、電気的には、申し分なく動作していても、消費電流が規格より多いものは近い将来故障する可能性が大であるので、除去すべきである。

5.4 カメラ装置の出荷検査と品質管理

品質管理の一環としてのカメラ装置出荷検査時点における検査例を以下に示す。

まず、組配の完了したプリント基板については、通電前に 70℃ の温蔵庫および -20℃ 冷蔵庫にて、各 12 時間 3 サイクルのデバッキングを行い、終了後、通電検査を行う。また、通常の検査終了後 -20℃ (2 hr 放置) ~ +50℃ の温度試験を全数実施する。その後、製品の調整を行う製造部に属する検査部門とは異なる信頼性品質管理部門により製品のスタティックおよびアクティブなファイナルチェックが行われる。これに合格したものは、出荷前に少なくとも 3 日間のヒートランを実施し、初期

不良の発見に努めている。

6. む す び

以上、小型ハンディーカメラの歴史的背景、設計時点での高信頼化設計へのアプローチ、製造、出荷時点での高信頼化へのアプローチについて述べた。初めにも述べたように、数年前、重量約 40 kg あったものが、最新型では 4.5 kg で約 1/10 になっており、使用部品点数も 5,293 点から 1,734 点と大幅に減少している。MTBF についても同様である。これらをまとめると図 7、表 8 のようになる。これらのカメラは、フィールドデータとしても設計上の MTBF の値を確保しつつあり、初期故障の段階を過ぎれば、今後フィールドでの MTBF の値の延長が期待できると考えている。

(昭和 54 年 11 月 22 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 川崎, 牛山: IC 化時代における回路設計, テレビ誌, **33**, 6 (1979) 52-58
- 2) 荒木: 電子機器設計, 日刊工業新聞社 (1970)
- 3) 牛山ほか: テレビカメラ回路の LSI 化, テレビ学会技術報告, TBS 49-4 (1978)
- 4) 佐々木ほか: IC 化設計の基礎, テレビ誌, **33**, 7 (1979) 53-65
- 5) 菅田, 原富編: 混成集積回路, 工業調査会 (1968)
- 6) 着実に進歩するハイブリッド回路技術, 日経エレクトロニクス (1976.11.29) 102-138