

## 部品基盤技術の研究 (電子部品)

Research on basic part technologies

宇宙用部品開発共同センター(Space Component Engineering Center)

山田理子, 浅井弘彰, 飯出芳弥, 新藤浩之, 岡克己, 松岡毅, 佐藤幸雄, 久保山智司, 松田純夫, 道浦 俊夫

Noriko Yamada, Hiroaki Asai, Yoshiya Iide, Hiroyuki Shindo, Katsumi Oka,

Takeshi Matsuoka, Yukio Sato, Satoshi Kuboyama, Sumio Matsuda, and Toshio Doura

### Abstracts

A Committee for space part/component technologies has been set up since 2002 in JAXA (NASDA in those days). The committee was established to discuss about how we can acquire and maintain the world's most advanced technology with independence and flexibility in the area of space parts/components. After thrashing out problems with space parts, some parts were selected by the committee from a strategic standpoint. We started the development of the parts last year.

#### 1. はじめに

我が国の宇宙活動を継続し自立性を確保することを目的として「宇宙用部品技術委員会」が平成 14 年度 10 月に設置された。この委員会では戦略性を考慮しながら中長期的視点に立った部品の基盤技術の強化を図るため、今後の宇宙用部品の対応について様々な議論がなされている。

その結果、基本方針として“自立性の確保”、“信頼性の確保”、“国際協調および国際競争力の確保”という観点から、今後国内で開発すべき重要部品が選定された。このうち優先順位の高いものについて平成 15 年度より開発に着手した。

また同じく委員会の提言である“部品評価能力の向上”も最も重要な課題の一つである。部品の変遷に拘わらず普遍的・共通的な問題解決をもたらすため、部品評価技術、部品基盤技術及びこれらを支える情報データベースを充実させ、部品評価能力の向上を図る。

#### 2. 研究の概要

平成 15 年度は以下の項目について研究を行った。

##### 2.1 技術基盤維持のための重要部品開発

###### 2.1.1 宇宙用バースト SRAM(Static Random Access Memory)の開発

宇宙用計算機システムを構築するためのメモリとしては、簡潔な構成で低消費電力化が容易という観点から非同期式 SRAM が用いられているが、100MHz 以上のデータバスによる高速アクセスには適用できない。これを解決するため同期式の SRAM(バースト SRAM)の開発を平成 15 年度より開始した。当該メモリは現在開発中の 200MIPS 級 64bitMPU の性能を引き出す上で必要不可欠である。

平成 15 年度はメモリの仕様検討・設計及び上述の MPU と同一の  $0.18\mu\text{m}$  プロセスを用いた部分試作を実施した。

###### 2.1.2 宇宙用 FeRAM/FPGA の開発

FeRAM(Ferroelectric Random Access Memory)は情報の記憶原理に強誘電体を使っているため、放射線に対して強いと考えられてきた。しかし実際には技術の成熟度の問題から、ようやく最近になって製品化されるようになってきたところであり、宇宙用の不揮発メモリ (FeRAM) はまだ存在しない。

もし宇宙用 FeRAM が実現できれば、MPU 周辺等への適用が期待される。また FPGA(Field Programmable Gate Array)の新しい回路構成方式として FeRAM が使える可能性がある。FPGA は特許の関係から米国企業の独占状態が続き供給体制が懸念されている。

平成 15 年度は放射線対策を考慮した不揮発性メモリセルの設計を実施し、13mm<sup>2</sup>程度で 100MHz、1Mbit を実現できる見通しが得られた。また FPGA の開発方法について検討し、問題点を明確にした。

### 2.1.3 宇宙用フォトカプラの研究

現在、国内外において、高信頼性かつ耐放射線性を有するフォトカプラはほとんど存在しない。フォトカプラは、電氣的に回路を分離することが可能なデバイスで地上用としては広く利用されているが、宇宙機にも不可欠である。特に地球を取り巻く宇宙放射線環境による影響が致命的な問題となっているため、宇宙用フォトカプラの開発を迅速かつ戦略的に行う必要がある。そこで民生技術を最大限に活用することにより陽子線損傷のない高速フォトカプラの実現を目指す。

平成 15 年度は前期にフォトカプラ発光部として市場に流通している代表的な組成の LED に対してプロトン照射試験を実施し、GaAlAs、GaP 組成の LED が耐性に優れることを確認した。また後期には、前期に実施した検討結果を基に受光素子及びその周辺回路から構成される受光部に対する基本設計作業を実施した。

### 2.1.4 コンデンサの開発

受動部品の安定供給のため、品質保証活動支援を行う。製造設備の更新・移転・技術の維持など認定の維持に対し重要と思われるものに対しては、必要に応じて部品の品質を確認するための品質保証評価活動を計画する。また容量増大の要求に応えるため、民生技術を活用した積層セラミックコンデンサの開発を行う。

平成 15 年度はフィルムコンデンサの金型更新に伴う試作及び評価を実施した。

## 2.2 COT(Customer Owned Tooling)生産方式の確率

半導体デバイスの生産にあたり、従来一社で行っていた設計・製造・試験／検査・品質保証を、COT 生産方式においてはそれぞれ個々の作業を得意とする専門的企業に分担させる。この方式の採用により、コスト、スケジュール、信頼性確保において最適化を図り、必要な高機能電子部品の約半分をカバーできるシステムを構築する。マルチプロジェクトランの採用によりチップの製造コストを数分の 1 にできることから部品の種類の増大が期待できる。また設計／製造／品質保証について専門業者を活用することにより短期開発が可能となり、常に最新部品開発技術を維持することが可能となる。

平成 15 年度は COT 生産方式によるフレキシブルな宇宙用部品の供給体制の構築するための仕様書類を整備し、ウェハバンキング技術について検討した。

## 2.3 民生部品技術の宇宙転用

### 2.3.1 民生部品（輸入／国産部品）に対する宇宙環境影響評価

#### (1) 民生部品の宇宙適用性の検討

民生用、通信・産業用、自動車用、航空機用の半導体、抵抗、コンデンサ、プリント基板、コネクタ類についてサンプルを購入し、宇宙適用への予備評価試験を実施し、技術課題の有無を把握する。特に自動車部品は過酷な条件で使用されること及び高い信頼性が要求されることから、宇宙用部品と共通しており、宇宙転用が期待できる。

平成 15 年度は自動車用部品等の信頼性を調査し、宇宙への適用性について検討した。

#### (2) プロセス診断技術の活用推進

平成 15 年度は、これまでに取得した半導体部品の LSI プロセス診断技術と信頼性試験の相互検証結果を相互に反映することによりプロセス診断の高度化を図る。

### 2.3.2 民生部品の宇宙適用基準の作成

民生部品を宇宙に適用するためには、継続的に軌道上実証を行うとともに、得られた実証データや地上での実験データを基に新しい宇宙適用基準を作成する必要がある。

まず「つばさ」の実験成果を基に、民生部品を宇宙用に適用するための基準を作成し、将来必要な高機能電子部品の約半分をカバーできるシステムを構築する。このシステムによれば最先端の民生部品を短期間に評価でき、最新民生部品を宇宙に適用することが可能となる。

平成15年度はつばさのデータを整理し、データベース化を図った。

## 2.4 部品情報システムの構築

従来の認定制度に新しい登録制度を加えると共に、一元化した部品情報システムの整備を行う。全部品の部品データ（QPLレベルの部品から全レベルの部品に拡大されると共に、輸入部品も含められる）の入手性が良くなり、部品品種数を増大させることができる。その結果、部品調達費用の低減が可能となる。又、部品選定・評価が効率的に実施できる。

平成15年度は部品情報システムの構築のためのデータベースの整備を行った。

## 3. 成果の概要

### 3.1 技術基盤維持のための重要部品開発

#### 3.1.1 宇宙用バースト SRAM の開発

##### (1) 宇宙用バースト SRAM の仕様検討

宇宙用バースト SRAM の基本仕様・回路構成等を検討し、一般民生用バースト SRAM の基本仕様をすべて取り込み選択可能な仕様とした。データビット毎に選択的に書き込める 1RW パーシャル SRAM マクロを使い、かつ同一ワード中のデータビットをそれぞれ別の SRAM マクロに割り当てることにより、レイアウト上に放射線対策を施していない一般民生用 SRAM マクロを利用しても、メモリ全体としては MBU(Multiple Bit Upset)対策を含む放射線対策をもたせることが可能となる。

動作周波数および電源電圧を 100MHz/1.8V とした。マクロのワード/ビット/カラム構成に対してサイズ/消費電力/動作スピード/レイアウトを検討するため、構成の異なる三種類の SRAM マクロを使用したフロアプランについて評価用デバイスを試作し比較することとした (Fig.1 参照)。

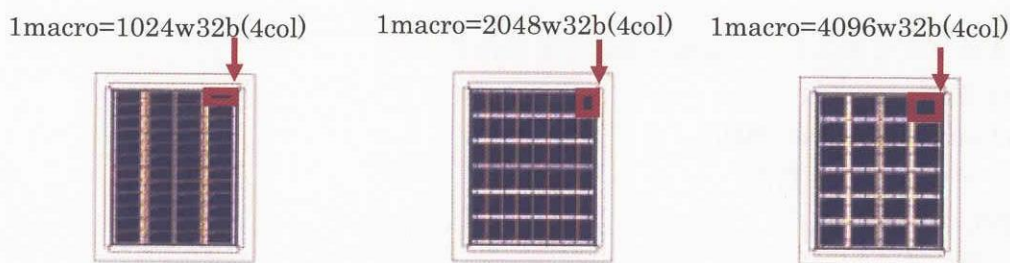


Fig.1 SRAM Macro

##### (2) 宇宙用バースト SRAM の設計

宇宙用バースト SRAM の回路設計及びレイアウト設計を行った (Fig. 2)。設計ルールはファウンドリ の 0.18  $\mu$ m CMOS プロセスを用い、目標性能は最大クロック周波数 100MHz とした。

設計過程の各段階 (RTL レベル、論理合成後のゲートレベル、レイアウト後の遅延付データレベル) でテストベンチによるタイミング特性の検証を実施した。シミュレーションにより構成の異なる三種類の宇宙用バースト SRAM に対する動作速度及び消費電力を検証した。結果を Table 1 に示す。



Table 1 Simulation results of individual SRAM macro

	Macro	Size ( $\mu\text{m}$ )		Power consumption (mW)	Access time (ns)	
		X-axis	Y-axis		Flow-through	Pipeline
1	1kw x 32b	322	691	106	10.2	6.3
2	2kw x 16b	579	360	103	10.3	6.1
3	4kw x 16b	583	676	99	10.3	6.1

### (3) 宇宙用バースト SRAM の試作

(2)の設計結果により宇宙用バースト SRAM の評価用デバイスを試作し、基本的な動作確認を実施した。また放射線照射試験を行い、LET=64MeV/(mg/cm<sup>2</sup>)までの SEL(Single Event Latch-up)耐性が確認できた。

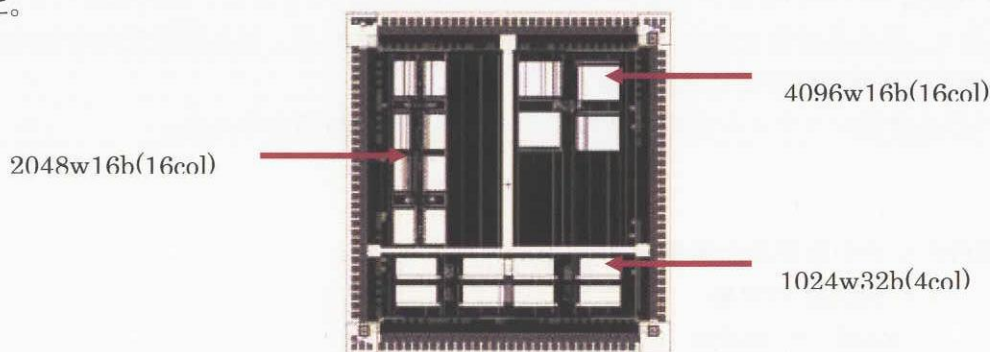


Fig.2 Layout of prototype device

本試作ではマクロに耐放射線性セル（ラッチ／フリップフロップ）を使用していない。SEU(Single Event Upset)対策には耐放射線製セルが必要である。今後、スタンダードセル（ラッチ／フリップフロップ）を耐放射線性セルに置き換えて回路を構成する。引き続き検証を行い、宇宙用バースト SRAM の設計を確定し、全体試作を実施する。

#### 3.1.2 宇宙用 FeRAM/FPGA の開発

##### (1) FeRAM の設計・レイアウト検討

###### a 目標仕様

最先端 FeRAM プロセスにより大容量・高速化を目指す。

- －100MHz 動作
- －1Mb, 32-bit x 32k-word(TBD)
- －バーストリード/ライト動作
- －64bitMPU に直結可能

###### b. 放射線対策

プロセスを変更しないで放射線対策を行うため以下の方法を適用した。

TID:遮蔽付パッケージの採用

SEL:基本設計ルールで>64MeV/(mg/cm<sup>2</sup>)を達成

SEU:SEU 耐性ラッチ+メモリセル

放射線照射試験の結果 6T4C セルでは SEU 耐性が低いことが判明した。そこで記憶ノードを 2 組持つ 12T8C セルに設計変更した。また現実的なチップサイズにするため設計ルールは 0.18 $\mu\text{m}$  とした。

周辺回路およびレイアウト方法も含めて検討した結果、高密度化に技術検討の余地はまだあるが、13mm $\square$ 程度で 100MHz, 1Mbit を実現できる見通しが得られた。また 2 ビット一組のユニークなセル構造により、SEU を防止するためのノード間距離を広くとりながら密度を高めることができた。

## (2) FPGAの実現可能性（素子性能・開発形態等）に関する検討

既存 FPGA ベンダ 2 社との技術提携可能性について調査した。

FPGA ベンダからみると、宇宙用 FPGA の市場規模は小さく必要投資額に対しペイしないという認識であった。また現在宇宙用で検討している  $0.18\mu\text{m}$  プロセスは民生用ではすでに競争力がなく宇宙用以外に品種展開が困難であり、開発ロードマップとのミスマッチが生じてしまう、とのことであった。以上より既存の FPGA ベンダとの提携は現状では困難との見通しが得られた。

実現可能性のある手法としては、プログラマブル素子の IP を設計変更可能な条件で調達し、これに FeRAM テクノロジーを適用し実現するものである。

今後は FeRAM の試作評価（機能・放射線耐性評価）により性能確認を実施するとともに、FPGA に関しフィージビリティ検討を継続し、設計作業へと進める

### 3.1.3 宇宙用フォトカプラの研究

#### (1) 受光部の基本設計

フォトカプラの受光部の基本設計として、受光部の構成やフォトダイオードの受光感度波長、出力電流、遮断周波数などについて検討を行った。また受光部を構成する周辺回路、定電圧回路等の回路ブロックの検討を行った。さらに、フォトカプラの目標性能をベースに各ブロックへの性能配分、また回路動作の高速化、高 CMR(Common Mode Rejection)化の検討も行った。

#### (2) 耐放射線性の検討

宇宙用フォトカプラの受光部として重要な耐放射線性に関する検討を行った。フォトカプラ発光部として市場に流通している代表的な組成の LED に対してプロトン照射試験を実施し、GaAlAs、GaP 組成の LED が耐性に優れることを確認した。GaAlAs は GaP よりやや劣化率が大いだが、応答速度が速く、高速化に欠かせないことから GaAlAs LED を選定した。

またシングルのイベント・トランジェント(SET) 対策について検討し、受光部の回路検討に反映させた。

#### (3) 受光部製造メーカーの調査・検討

受光部製造会社について、情報収集を行った。現状フォトダイオードの集積、高耐圧、及び高速化を同時に 1 チップで実現しているメーカー（製品）はなかったが、有望と思われるメーカーについては各社に出向き詳細な調査を行った。大部分のメーカーでは協力を得られなかったものの、2 社において受光部製造の協力を得られる見通しがたった。このうち特に 1 社が上記の条件を全て満たす 1 チップ受光部の開発に意欲を示している。

#### (4) 発光部(LED)の調達に関する検討

前期に評価・絞り込みを行った LED の調達について検討を行い、その結果を「フォトカプラ製作用 LED チップ調達仕様書（案）」という形でまとめた。

#### (5) フォトカプラ目標仕様の見直し

今回の開発検討を通じて得た結果から、宇宙用フォトカプラ開発に関する技術課題を抽出し、フォトカプラの目標性能の見直しを行った。高耐圧/高速用を両立する受光部の実現に目処が得られた。

今後は受光部の設計・評価を実施する。

### 3.1.4 コンデンサの開発

金型更新に伴いコンデンサ外装ケースの評価及びコンデンサの試作評価を実施した。試作したサンプルの特性が適用仕様書(NASDA-QTS-55514A)に合致していることが確認できたことにより、新金型による加工が可能となった。

平成 16 年度は民生技術活用による積層セラミックコンデンサの開発に着手する。車載搭載用部品にスクリーニング、デバッグを実施することにより宇宙適用を目指す。民生技術の適用、原材料の有効活用、製造設備の可能な限りの有効活用による生産性向上、品質確認試験の最適化を図る。

### 3.2 COT 生産方式の確立

多品種少量が基本の宇宙用部品、特に半導体部品をフレキシブルに生産できる供給体制を確立する。

平成 15 年度は COT 生産方式によるフレキシブルな宇宙用部品の供給体制を構築するために仕様書類を整備した。またウェハバンキング条件を検討して実際にデシケータを整備し、評価用サンプルのバンキングを開始した。バンキング条件は常温（15～35℃）、湿度 30%以下、窒素雰囲気、とした。

今後は上記サンプルを定期的に評価してバンキングシステムの確立を図る。また COT 生産方式による LSI の製造に必要なセルライブラリを 0.18  $\mu\text{m}$  プロセスを前提として拡充し、供給体制を確立する。

### 3.3 民生部品技術の宇宙転用

#### 3.3.1 民生部品に対する宇宙環境影響評価

##### (1) 民生部品の宇宙適用性の検討

自動車用部品の具体的な供給体制について調査し、その現状を把握することが出来た。

また自動車用部品の宇宙機器への適用性するメリット／デメリットについて検討した。メリットとしては豊富な品揃え、高品質・高機能、短納期、長期にわたり供給可能なこと（10 年）、またデメリットとしては文書の開示制限のため部品選定時点で入手できる情報が少ないこと、宇宙関連の市場規模が小さいため纏め買いなどを考慮する必要があること、及び使用実績に関する情報が公開されないこと、などが挙げられる。以上より今後の課題を明確にすることが出来た。

民生用部品（自動車用部品）の宇宙適用に当たっては、一長一短があり、さらに議論が必要である。

##### (2) プロセス診断技術の活用推進

過去の民生用半導体部品の評価試験において LSI プロセス診断により不合格と判定された二品種を対象として、内在する欠陥情報を基に、欠陥部位の劣化を促進するストレス試験を実施し、一部関連データを取得した。

#### 3.3.2 民生部品の宇宙適用基準の作成

MDS-1 のミッションで得られたデータを整理し、データベース化を図った。また CNES との間で共同研究を設定し、民生部品の宇宙適用に係る共通の方針・ガイドラインを設定する道筋をつけた。

### 3.4 部品情報システムの構築

#### (1) プロジェクト認定部品のデータベースの整備

ETS-VIII、ADEOS-II、DRTS、ALOS、WINDS、及び SELENE のプロジェクト認定品のデータベースを作成した。

#### (2) 電子部品の耐放射線性に関するデータベース構築

これまで JAXA 内で試験データを蓄積しデータベース化していたものの改善を実施した。

#### (3) データベースの公開

宇宙用部品データベース（QPL 部品）のデータベースを公開した。

#### (4) 部品データベースの拡充

NASA/ESA との間でデータベースのリンク化を図った。

### 4. まとめ

第一期重要部品であるバースト SRAM、FeRAM/FPGA、及びフォトカプラの開発に着手した。また部品そのものではなく、少量他品種の宇宙用部品を製造できる供給体制（COT 生産方式）を確立するための検討をおこなった。民生用部品技術の宇宙転用、部品の評価技術、及び部品データベースの構築についても引き続き研究を行った。

平成 16 年度は第一期重要部品の開発を引き続き迅速に進めると共に、第二期開発計画案を策定する。