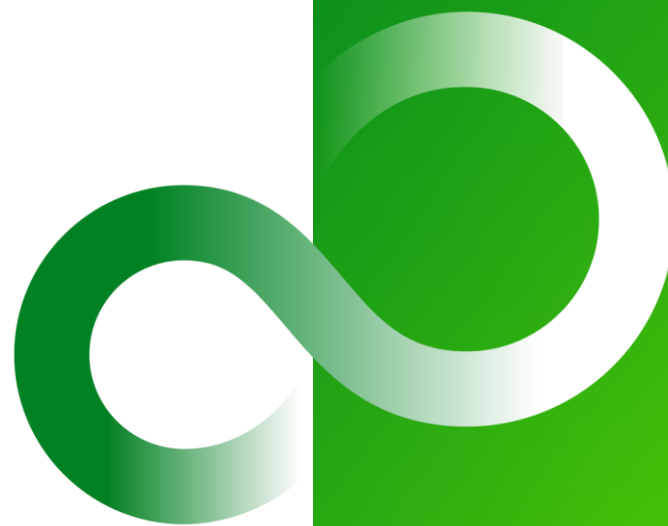


FeRAMの概要と実績 ～ホワイトペーパー～



富士通セミコンダクターメモリソリューション
2023年2月

● FeRAMのご紹介

「FeRAMという製品をウェブ記事や広告で見たことがあるが、何か分からない」または「FeRAMはメモリと知っているが、実際にどんな用途に使われているのかを知りたい」という声をお客様から伺います。

本資料では、お客様の声の回答として、「FeRAMとはどのようなものなのか」および「FeRAMがどんなアプリケーションで使われているのか」を以下の流れでご紹介します。

◎本資料の目次

- 1) FeRAMの概要
- 2) FeRAMのラインナップ
- 3) FeRAMの特長
- 4) FeRAMの実績
- 5) FeRAMの商談事例
- 6) FeRAMによるソリューション
- 7) おわりに

本資料の目次

- 1 概要 | FeRAMとは？
- 2 ラインナップ | FeRAMのラインナップと注目の製品
- 3 特長 | FeRAMの特長
- 4 実績 | FeRAMの出荷実績、受賞歴
- 5 商談事例 | FeRAMの商談事例
- 6 ソリューション | FeRAMによるソリューション
- 7 おわりに | 当社とFeRAMの役割

● FeRAMとは？

初めにそもそも「FeRAM（エフイーラム）とは何か？」について説明します。

FeRAMは、エレクトロニクス産業の中の電子部品のひとつで半導体製品に属します。半導体製品には、マイコン、ロジックIC、アナログIC、メモリなどいろいろな種類がありますが、FeRAMはDRAMやフラッシュメモリなどに代表される「メモリ」のひとつです。

FeRAMは、データを記憶するために強誘電体の素子を使用したメモリですので、**強誘電体メモリ**とも呼ばれています。強誘電体メモリの英訳である、**Ferroelectric Random Access Memory**の略称として、FeRAMと呼ばれているのです。

● 不揮発性メモリのFeRAM

メモリはデータを記憶するための半導体製品ですが、大きく分けて2種類に分類されます。ひとつは本体の電源を切ると書き込まれていたデータが消える「揮発性メモリ」です。良く知られている揮発性メモリは、DRAMです。

もうひとつは、電源を切ってもデータが消えない「不揮発性メモリ」です。代表的な不揮発性メモリは、フラッシュメモリです。当社が提供する**FeRAMは不揮発性メモリ**になります。

図1: FeRAMの位置付けと外観

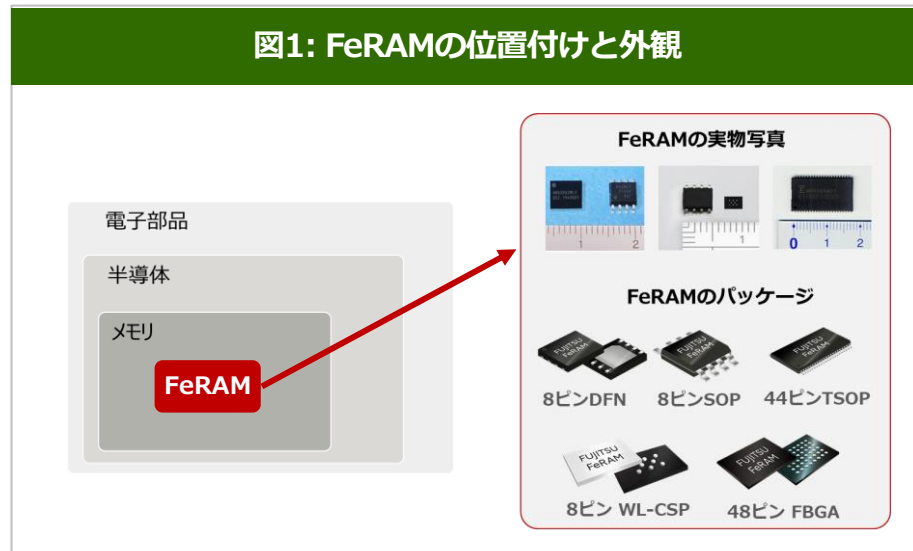
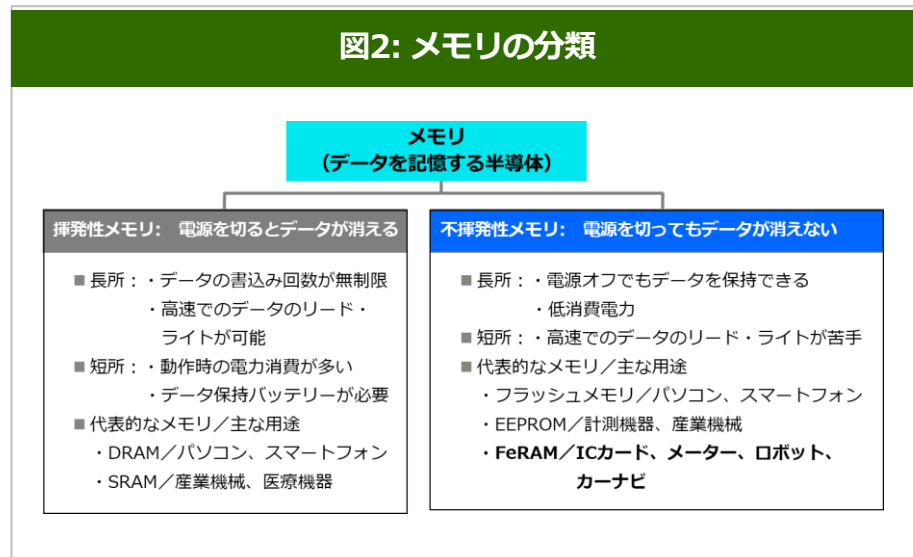


図2: メモリの分類



● FeRAMの構造

FeRAMは強誘電体の素子を使用したメモリです。その構造は、データに記憶する方法が、EEPROMやフラッシュメモリなどの汎用の不揮発性メモリとは異なります。

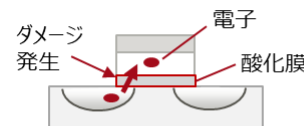
汎用のメモリは、データの記憶領域にある電荷の有無で「1、0」のデータを判定します。(図3の左図)

これに対して、FeRAMは分子構造の中心にある原子(イオン)が移動することで生じる電気的な「分極」によって「1、0」を判定します。(図3の右図)

この強誘電体の特性によって、**FeRAMは「不揮発性」「高書換え耐性」「高速書込み」「低消費電力」という、4つの特長を兼ね備えることができます。**

図3: 不揮発性メモリの記憶構造

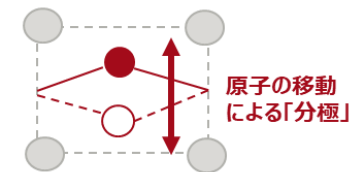
EEPROM



EEPROMは、データ記憶領域(セル)にある**電子の有無**で「1、0」を判定します。

電子が酸化膜を通過する時に、物理的にダメージを受けることで書込み回数の制限がおきます。

FeRAM



FeRAM分子構造の中心にある**原子の位置**により「1、0」を判定します。

原子の移動は物理的なダメージが少ないため、書込み回数を多くできます。

● FeRAMのラインナップ

FeRAM製品には、**3種類のインターフェース群**があります。EEPROMと互換性があるI2CとSPIのインターフェース、およびSRAMと互換性があるパラレルインターフェースです。

メモリの容量は4Kビットから8Mビットを揃えています。

動作温度範囲は、**-40℃～+85℃**の製品が一番多いですが、近年は車載向け、産業機械向けに**125℃まで動作する製品のラインナップを増や**しています。

各製品の仕様は、それぞれのデータシートをご確認ください。

● 注目の製品- 125℃動作のFeRAM

当社は、2020年7月に125℃動作を保証するFeRAMとしては最大メモリ容量となる4MビットFeRAM「MB85RS4MTY」を開発し、現在は量産品を提供しています。

本製品は125℃の高温環境下においても、最大4mAの低動作電流および10兆回のデータ書き込み回数を保証する不揮発性メモリです。先進運転支援システム（ADAS）を代表とする車載向けや産業用ロボット向けに最適です。

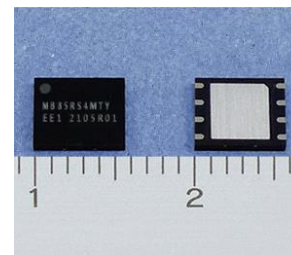
表1: FeRAMのラインナップ

インターフェース	I2C	SPI	パラレル
メモリ容量	4K~1Mビット	16K~8Mビット	256K~8Mビット
電源電圧	1.8~3.6V 3.3V 最大5.5V	1.8~3.6V品 3.3V品 最大5.5V品	1.8~3.6V品 3.3V品
動作温度範囲	-40℃~+105℃	高温品: -40℃~+125℃ 通常品: -40℃~+85℃ 低温品: -55℃~+85℃	-40℃~+85℃
パッケージ	SOP, SON	SOP, SON, DFN, WL-CSP	SOP, TSOP, FBGA

(2023年1月現在)

図4: 125℃動作の4MビットFeRAM

パッケージ写真
(表面・裏面)



最適なアプリケーション



● FeRAMの4つの特長

繰り返しになりますが、FeRAMはメモリに要求される4つの特長を備えています。つまり、「**不揮発性**」「**高書換え耐性**」「**高速書込み**」「**低消費電力**」になります。

この4つの特長によって、お客様の「できるだけ多くのデータを取得したい」「データが壊れないように保護したい」という要求を実現できるのです。

● 汎用メモリとの比較

表2では、従来のメモリ製品との特長比較を示しています。リストアップしているEEPROM、フラッシュメモリ、SRAMの汎用メモリは、FeRAMとの置き換えが容易なメモリになります。

FeRAMは、同じ不揮発性メモリのEEPROMやフラッシュメモリと比べると、特に「書換え回数」と「書込み時間」が優れています。また、電源が切れているときにデータ保持用バッテリーが必要なSRAMと比べると、不揮発性メモリのFeRAMはバッテリーが要らないため、使い勝手が良いメモリです。

これらの理由により、表に記載されてある他の汎用メモリと比較すると、4つの特長を兼ね備えたFeRAMは優位性があると言えます。

図5: メモリに要求される4つの特長

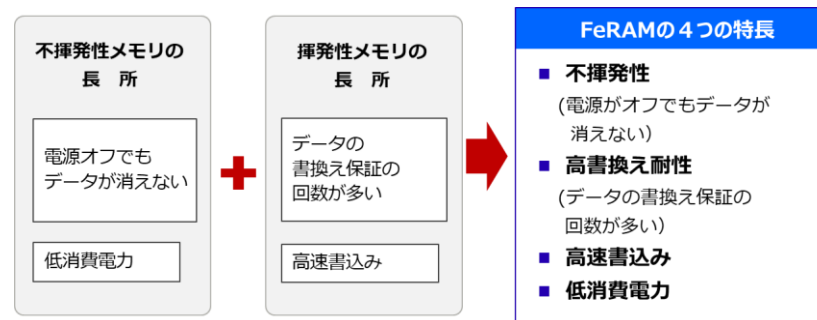


表2: 汎用メモリとの特長比較

項目	FeRAM	EEPROM	フラッシュメモリ	SRAM
メモリタイプ	不揮発性	不揮発性	不揮発性	揮発性
データ保持用バッテリー	不要	不要	不要	必要
書換え回数	100兆回	100万回	10万回	無制限
書込み方法	重ね書き	消去+書込み	消去+書込み	重ね書き
書込み時間	120ns	5ms	10μs	55ns
昇圧回路	不要	必要	必要	不要

● FeRAMの特長 - 書換え耐性

ここからはFeRAMの各特長の説明になります。初めは「高書換え耐性」です。

「高書換え耐性」とは、データの書換えの保証回数が多いという意味です。この回数が多いほど、お客様はより多くのデータを取得して更新できる（=書換えできる）こととなります。

FeRAMは、最大100兆回の書換え回数を保証しています。同じ不揮発性メモリのEEPROMでは100万回の書換え保証ですので、実に1億倍も多い値なのです。

（最近のEEPROMでは、400万回の書換え保証をしている製品もあります。）

100兆回の書換え回数ということは、例えば、毎日0.003ミリ秒に1回という非常に短い間隔で、10年間連続でデータを取得できることを意味しています。

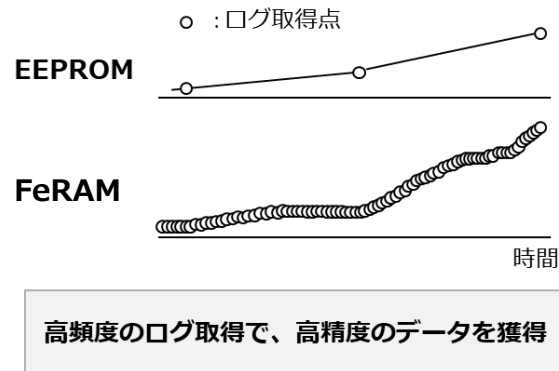
つまり通常の使用用途では、データ書換え回数の制限は無制限に近いと言えます。

書換え耐性が高いことにより、お客様は高頻度で精度の高いデータを収集することが可能です。お客様はこれまででは確認できなかった複雑なデータ曲線を知ることで、本当のデータの動きを確認することができます。

図6: 10年間のデータ書換え回数



図7: データの取得頻度の違いによるログ取得



● FeRAMの特長 – 高速書込み

次に「高速書込み」の説明をします。

FeRAMは、EEPROMと比べるとデータの書込みが完了するまでの時間が短いです。言い換えると、書込み速度が速いのです。

EEPROMではデータの書込みを行う場合、書き込もうとする領域にあるデータの消去動作が必要になります。この消去に時間がかかるため、データの書込みに5msの時間を要することになります。

一方で、FeRAMはこの消去動作が不要でデータを書きたい領域に上書きするだけなので書込み時間が120nsと短いのです。この高速書込みにより、停電や瞬断時においても書込み中のデータを破壊することなく書込みを完了させることができます。

当社で製作したデモ機を使って、メモリにデータを書込み中に電源をオフにする実験を100回以上実施しました。その結果、FeRAMでは書込みエラーが起きなかったのに対して、EEPROMでは約3回に1回の書込みエラーが発生するという結果を確認しています。

この結果からも、書込み時間が短いということは書込みエラーが少ないと言えます。

図8: データ書込み時のフロー

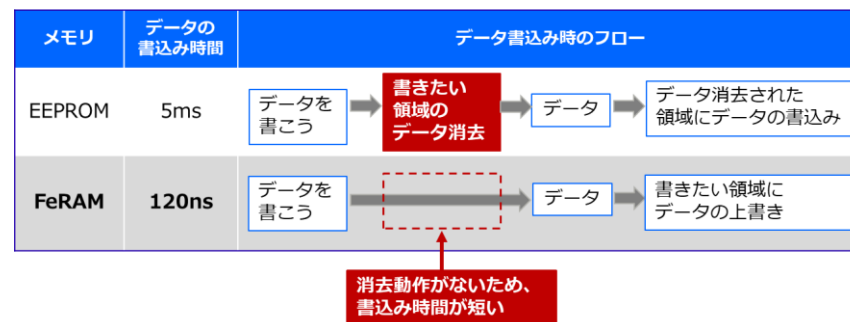
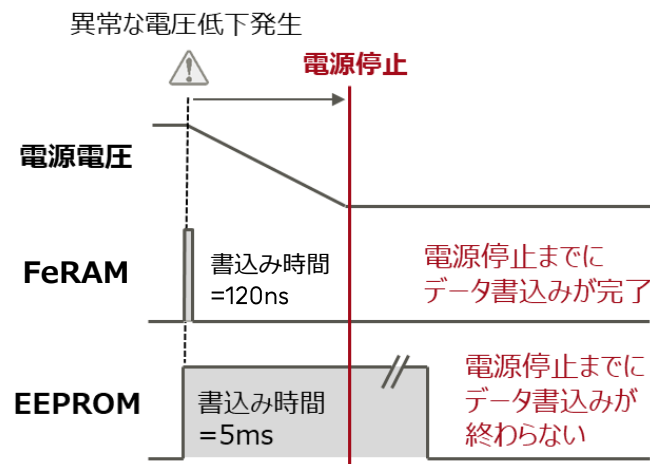


図9: 瞬断時の書込み時間の比較



● FeRAMの特長 – 低消費電力

3つめに「低消費電力」の説明をします。

データの書き込み時にフォーカスすると、同じデータ量を書いたときのEEPROMと比べた場合、書き込み時間が短い**FeRAMでは消費電力が約92%減少**することもあります。もちろん、データの書換え頻度が少ない用途ではこれほど大きな差にはなりません。高頻度でデータ書換えをする用途においては、機器の低消費電力化に貢献できます。

また、FeRAMは電源がオフの時でもメモリに書き込まれたデータは消えないため、SRAMなど揮発性メモリに必要な**データ保持電流は、FeRAMには必要ありません**。つまり、SRAMをFeRAMに置き換えることで、バッテリーを削減することができます。

図10: データ書き込み時の消費電力比較

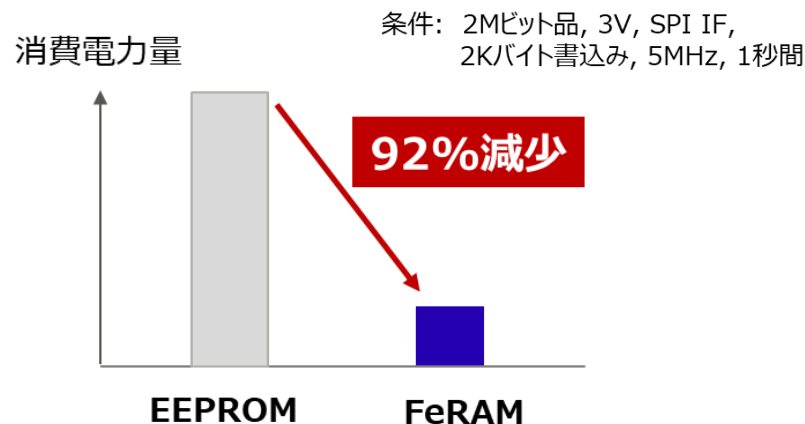
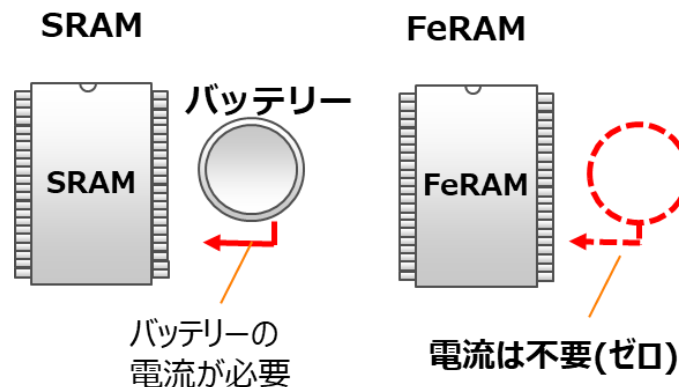


図11: データ保持用の電流比較



4. FeRAMの出荷実績、受賞歴

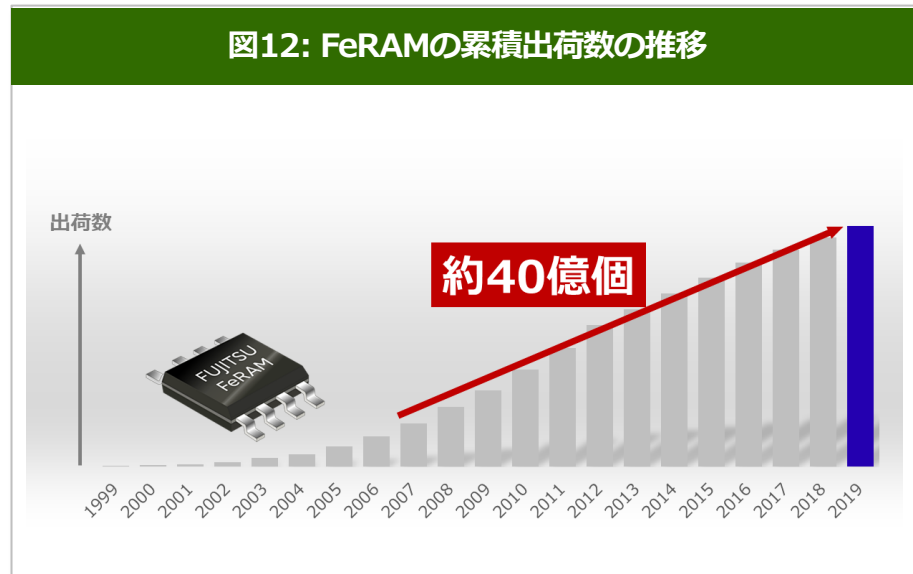
● FeRAMの出荷実績

最近でもお客様から「FeRAMの量産品は市場にでているのか？」や「FeRAMは新しいメモリだから、あまり使われていないのではないか？」と質問されることがあります。

当社では1999年から量産品の出荷を開始し、2020年3月までの21年間で累計約40億個の出荷実績があります。

FeRAMは、DRAMやフラッシュメモリのように有名ではありませんが、豊富な量産実績をもつ信頼のメモリです。

図12: FeRAMの累積出荷数の推移



● FeRAMの受賞歴

表3では、FeRAMの受賞歴を示しています。

FeRAMは、国内の学会や行政機関からも高い評価を受けており、2001年から2015年の15年間で11の賞を受賞しています。受賞理由は、メモリの新規性、量産化の実現、そして新しいメモリの開発による国内の産業への貢献などです。

このように当社のFeRAM開発および量産化に対しては社外からも評価されています。

表3: FeRAMの受賞歴

年	賞の名称	主催
2001	第8回LSIデザイン・オブ・ザ・イヤー優秀賞	半導体産業新聞社
2004	CORPORATE INNOVATION AWARD	ISIF
2004	文部科学大臣表彰 研究功績者 (研究功績者)	文部科学省
2007	第2回 ものづくり日本大賞 優秀賞	経済産業省等
2011	産学官連携功労者表彰 日本経済団体連合会会長賞	内閣府等
2013	応用物理学会フェロー表彰	応用物理学会
2013	文部科学大臣奨励賞、電気科学技術奨励賞	電気科学技術奨励会
2014	大河内記念技術賞	大河内記念会
2014	文部科学大臣表彰 科学技術賞 (開発部門)	文部科学省
2014	第14回 山崎貞一賞	材料科学技術振興財団
2015	紫綬褒章	内閣府

● FeRAMの商談実績

FeRAMは、個人向け、企業向けを問わず、様々なアプリケーションに使われています。図13には、これまでに商談事例があったアプリケーションを示しています。

FeRAMの用途としては、特に公共性が高いインフラや産業を支えるアプリケーションへの採用が多いです。

例えば、ICカードの記録情報の更新、電力メーターの使用量の常時記録、工場の機械の動作情報の書換えなどのデータ記録用メモリとして使われています。

共通して言えるのは、データを頻繁に書き換える用途に使用されていることです。

また、FeRAMの商談実績としては、これまでに世界の60カ国以上に製品の出荷実績があります。また、合計で200種類以上のアプリケーションでの商談実績があります。

図13: FeRAMのアプリケーション

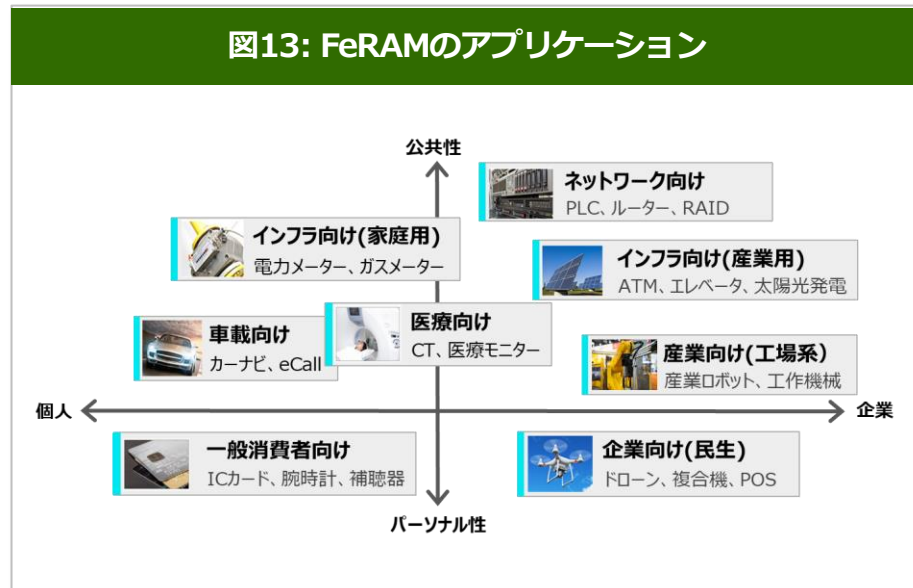


図14: FeRAMの商談実績



● 商談事例 - 車載向け

当社では、「カーナビ、ドライブレコーダー」などカー・インフォテインメント向けのFeRAM採用事例が複数あります。これらの用途では、走行時の情報をリアルタイムでメモリに記録する必要があるためです。

また、俗に“eCall”と呼ばれる「車両緊急通報システム」への利用も可能です。走行時のデータ記録はもちろんのこと、事故発生時のデータが消えないようにデータ書込みが高速で、かつ、不揮発性メモリであるFeRAMの利用を提案しています。

「タイヤ空気圧監視システム」では空気圧センサーからのデータを、電気自動車の「バッテリー管理システム」では温度センサーからのデータを常時記録するためにFeRAMを使用できます。

図15: FeRAMの用途 – 車載向け



● 商談事例 – 産業向け（工場系）

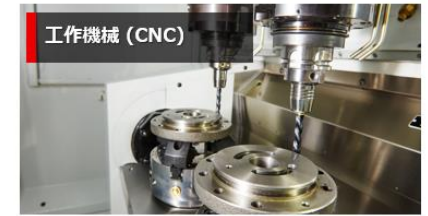
次に、主に工場で使用される「産業向け」でのFeRAMの使用例をご紹介します。

「モーター」「ロータリーエンコーダー」「産業ロボット」「工作機械」に共通しますが、これらは作業中は絶え間なく動き続けます。つまり、動作中の位置情報や回転数の情報などデータはリアルタイムでメモリに書き込まれています。従って、データを高速に、しかも何度も書込めるメモリが必要です。

また、万が一、瞬断や停電が発生して電気が一時的に切れた場合、その時点での機械の位置情報を正確に記録できていないと、工程が途中だった製品が没になるなど、大きな損失につながります。そのため、瞬断や停電で電気が切れても、書込み中の位置データが破壊されずに素早く書き込むことができるメモリとしてFeRAMが採用されています。

「プロセスモニター」も、計測データのリアルタイム記録などでFeRAMが使用されています。

図16: FeRAMの用途 – 産業向け（工場系）



● 商談事例 – インフラ向け

社会を支える「インフラ向け」の設備にもFeRAMが使用されています。

「スマートメーター、ガスメーター、水道メーター」など、メーター類の使用量は課金に関わることなので、データを記録し続けることは重要です。特に、電気メーターでは、電気は絶え間なく使用されるため、使用量のデータを常に更新する必要があります。そのため、多くの書換え回数を保証できるメモリが必要とされます。

さらに、万が一停電が起きても、停電直前のデータを高速に書き込みする必要があります。そのような要求に対してはFeRAMを使用することで、停電によるデータのロスを回避することが可能です。

「PLC」や「エレベーター」は、ズレやミスが起きないように動作状況を細かく記録することが求められます。

「発券機」や「ATM」では、確実にデータが書換えされること、また、停電でもデータが消えないことが大切です。

これらのインフラの設備では、細かくデータを記録できることと、瞬断や停電時でもデータが消えないことが絶対条件ですので、高信頼性のメモリとしてFeRAMが使用されています。

図17: FeRAMの用途 – インフラ向け



● 商談事例 – 消費者向け、企業向け

最後に、「一般消費者向け」と「企業向け」商品へのFeRAMの採用事例を紹介します。

FeRAMは多くのICカードにも採用されています。それは、FeRAMは書き込み時は少ない電力で動作できるため、非接触のICカードの少ない電力供給でも問題なく高速データの書換えができるためです。

また、「スマートウォッチ」のようなバッテリー駆動の用途では、低消費電力の特長を持っているFeRAMはバッテリーの寿命を延ばすことに貢献できます。

「ドローン」ではリアルタイムでの飛行データの記録用として、「複合機」ではコピーなど使用履歴の記録用としてFeRAMが使われています。

● 商談事例のまとめ

右の表4は、商談事例の各アプリケーションにおけるメモリの使われ方を示しています。

お客様の製品の機能をサポートするメモリには、表にある「必要とされる特長」が不可欠です。この特長は4つに集約されますが、FeRAMはその4つの特長を持っているメモリです。

図18: FeRAMの用途 – 一般消費者向け、企業向け



表4: 各用途におけるメモリの使われ方

4つの特長に集約			
No	アプリの分類	メモリへの要求	必要とされる特長
1	車載向け	・リアルタイムでのデータの連続記録 ・アクシデント発生時でのデータ保護	高書換え耐性、不揮発性、高速書込み
2	産業向け（工場系）	・リアルタイムでの位置情報、回転情報の記録 ・停電時、瞬断時での書き込み中のデータ保護	同上
3	インフラ向け	・使用量、利用状況、位置データの記録 ・アクシデント発生時でのデータの保護	同上
4	一般消費者向け	・利用履歴の記録、位置情報の記録 ・小型バッテリーの寿命を伸ばす低消費電力	高書換え耐性、低消費電力
5	企業向け	・リアルタイムでのデータの連続記録 ・停電時のデータ保護	高書換え耐性、不揮発性、高速書込み

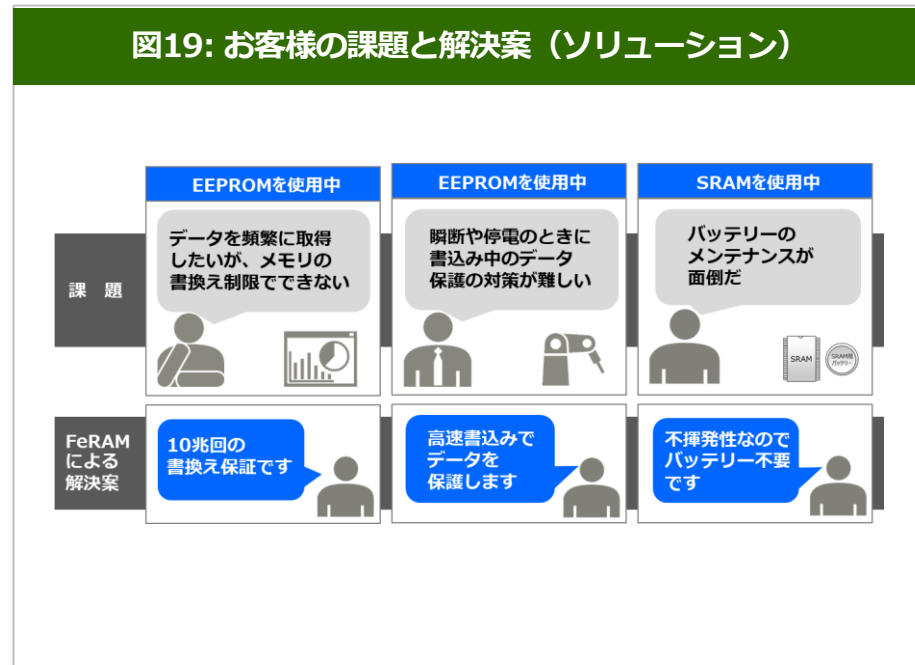
● お客様の課題とFeRAMによる解決策

まとめになります。EEPROMやSRAMをご使用中のお客様が次のような課題をお持ちの場合は、当社のFeRAMをご検討ください。

- 1) データを頻繁に取得したいが、メモリの書換え制限のためできない
- 2) 瞬断時や停電時に書き込み中のデータを保護したいが対策が難しい
- 3) データ保持用のバッテリーのメンテナンスが面倒だ

これらの課題に対しては、FeRAMへの置き換えにより解決できることがあります。

図19: お客様の課題と解決案 (ソリューション)



● FeRAMへの置き換えの提案

現行のメモリをFeRAMへの置き換えとなると「よく知らないメモリなので面倒だ」とか「電気的なタイミングの変更など、複雑な設計変更はしたくない」という心配があると思います。このご心配に対して、説明をします。

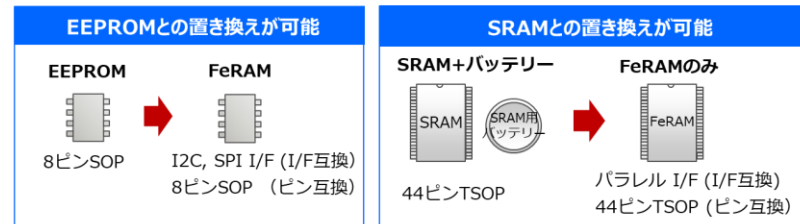
FeRAMは、SOPパッケージのEEPROMとはピン互換であり、電気的なタイミングもほぼ一緒です。パラレルインターフェースのSRAMでは、4MビットFeRAMはピン互換ですので、基板の変更はほぼ不要です。

お客様での評価をサポートするツールとして、当社はシミュレーションモデルを提供しています。また、評価用FeRAMサンプルを気軽に入手できるように、パートナー会社様のWeb販売サイトにてFeRAMを販売しています。

その他にも質問等がありましたら当社のWebサイトからお問い合わせ願います。

図20: FeRAMへの置き換えの提案

■ 汎用メモリと互換できるFeRAMへの置き換え



■ FeRAMを評価するためのサポート

- ・シミュレーションでの評価をしたい ➡ Verilog, IBISモデルの提供
- ・評価サンプルを数個だけ欲しい ➡ Web販売によるサンプルの提供

● 当社とFeRAMの役割

FeRAMはメモリという電子部品のひとつに過ぎません。しかし、その特長と機能を最大限の価値として提供できるならば、社会への貢献ができると考えています。その詳しい流れは次の通りです。

1) エンジニアの開発負担を削減

- ・ 良い部品を提供することで開発者のハード面、ソフト面での負担を減らすことによる開発者(人)への貢献

2) 企業の業務負担やリスクを低減

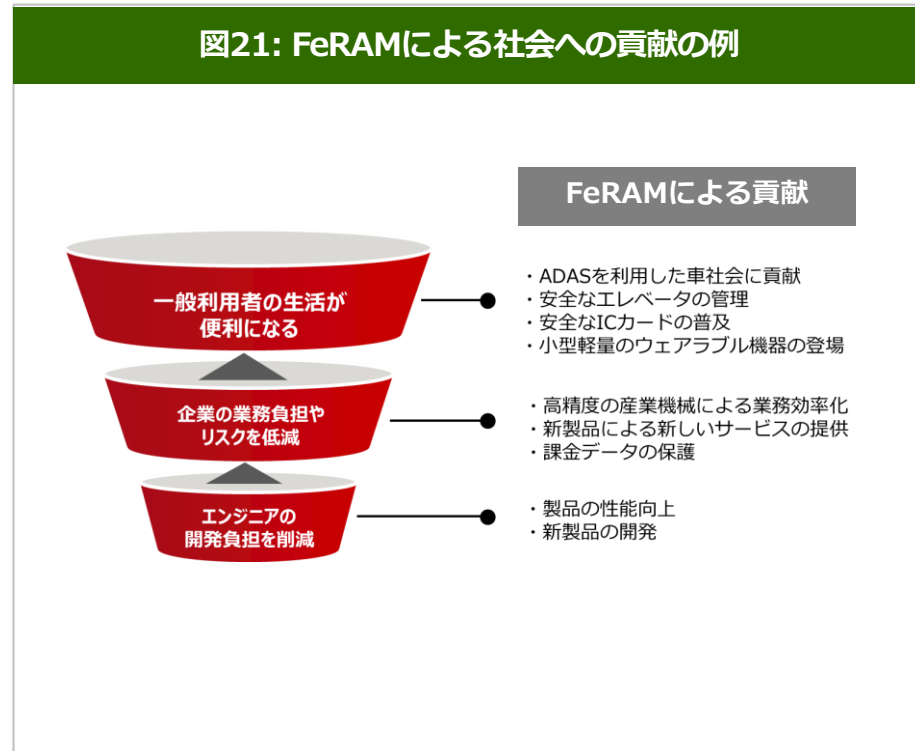
- ・ 高性能メモリによる製品やサービスの実現、および取得したデータの保護による企業への貢献

3) 一般利用者の生活が便利になる

- ・ 便利な製品やサービスが世の中に普及することによる社会への貢献

当社のFeRAMは、お客様のアプリケーションを通して社会に貢献することが役割のひとつと考えています。

図21: FeRAMによる社会への貢献の例



Thank you

