

# 高い信頼性を有する超集積システムにより実現される IoT 社会

IoT World Realized by Highly-Reliable VLSI Systems

小林和淑

Kazutoshi Kobayashi

京都工芸繊維大学工芸科学研究科

Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology

## 1 はじめに

IoT (Internet of Things, モノのインターネット) の普及はめざましく、家庭内でも、テレビ、ブルーレイレコーダー、ロボット掃除機、スマートスピーカー、スマートプラグなどが Wifi ルーターによってインターネットに接続され、家庭外からそれらを操作することも可能である。IoT は家庭内ばかりか、社会インフラを担う交通網、金融システム、流通や、自動車にまで及んでおり、信頼性が毀損されると社会生活に支障をきたすばかりではなく人命を脅かす。

## 2 自動車に求められる信頼性

自動ブレーキ、前車追従オートクルージングなどの Advanced Driver-Assistant System (ADAS, 先進運転支援システム) には、高い信頼性が要求される。自動車向けの安全規格である ISO 26262[1] には、表 1 に示すとおり A から D までの 4 つの Automotive Safety Integrity Level (ASIL, 自動車安全水準) が定められており、レベルにより応用先が異なる [2]。FIT 値は  $10^9$  時間に起こるエラー数、SPFM (Single Point Fault Metric) は単一箇所における故障検出率、LFM (Latent-Fault Metric) は潜在的な故障検出率を表す。10FIT では、故障が 1 回起きるのに  $10^8$  時間 ( $\approx 11,000$  年) もかかるため、一見、過剰な故障率を求めているように見える。しかし、100 万台の自動車あたりでは、 $10^8/10^6 = 100$  時間に 1 回の故障が発生することとなり、無視できない数値となる。

表 1 ISO 26262 で規定される ASIL

ASIL	FIT 値	SPFM	LFM	応用先
A	<1000	N/A	N/A	バックライト
B	<100	$\geq 90\%$	$\geq 60\%$	ヘッドライト
C	<100	$\geq 97\%$	$\geq 80\%$	クルーズコントロール
D	<10	$\geq 99\%$	$\geq 90\%$	ABS, エアバッグ

## 3 その他の IoT に求められる信頼性

検針にかかる人件費の削減を主な目的に、家庭用のスマートメータが急速に普及しており、2024 年には日本の家庭のすべての電気検針メータ (約 8,000 万台) がスマートメータに交換される予定である [3]。スマートメータは 10 年毎に取り替えられるが、家庭への電気の供給は 24 時間 365 日、ほぼ停まることはない。このような環境ではソフトウェアによる一時故障が蓄積され、エラーが顕在化する可能性が高くなる。8,000 万台が 10 年間エラーなく動作するには、0.0001 FIT という常識はずれの信頼性が必要となる。自動車向けの ASIL D を満たす 10FIT の LSI を使っても、1 時間に 1 台の故障が発生することとなる。多数の IoT が動作する環境では、1 台

あたりのエラー率が無視できるほど小さくても、故障が頻発する。スマートメータの故障により電気が供給できない事態になることは避けるべきであり、その信頼性の向上は重要な課題である。

## 4 LSI の信頼性を向上させる手法

市場に出荷された LSI には、製造時の不具合による初期故障 (Infant Mortality)、放射線などにより偶発的に発生するソフトエラーと呼ばれる一時故障 (Temporal Failure)、経年劣化 (Aging Degradation) による故障の 3 種類の故障が主に発生する。初期故障を未然に防ぐためには、出荷前に高温の炉の中に一定期間 LSI を放置して初期故障しやすい LSI を間引けば良い。ソフトエラーは偶発的に発生し電源の再投入で消えるため、見えない故障とも呼ばれる。自動車向け等の高い信頼性が要求される場合には、デバイス・プロセスレベル、回路レベル、システムレベル等でソフトエラーによる誤動作を防ぐための対策を取らなければならない。我々の研究グループでは、経年劣化のモデル化やソフトエラー耐性の高い回路などの研究を行い、IoT の信頼性を高める一助としている。FDSOI 向けに FRFF と呼ぶ耐ソフトエラーフリップフロップを提案し、海外の企業との共同研究にて 22nm FDSOI プロセスにて試作し、重イオンでは高いソフトエラー耐性を示した [4]。

経年劣化は、温度と電圧による長期のストレスによりゲート酸化膜内の格子欠陥にキャリアが補足され、見かけ上しきい値が上がる BTI (Bias Temperature Instability) と呼ばれる劣化現象が主要因であり、加速試験により劣化率を求め、設計時に経年劣化を見込んだマージンを取ることで寿命を伸ばすことができる。電源電圧 (VDD) が下がると BTI による劣化率は下がるが、トランジスタの ON 電流は下がり性能が劣化する。我々は、65nm FDSOI プロセスにて、VDD の減少による性能劣化を基板バイアスにより補償し性能を維持する手法を提案した [5]。

## 参考文献

- [1] ISO 26262 Standard
- [2] “ASIL とは”, <https://www.synopsys.com/ja-jp/automotive/what-is-asil.html>
- [3] <https://blog.eco-megane.jp/smartmeter>
- [4] R. Nakajima, J. Furuta, K. Kobayashi, et.al, RADECS 2022 G2 (10 月発表予定)
- [5] I. Suda, R. Kishida, K. Kobayashi, IEEE IRPS 2022, P4