

ESDの脅威はあるか

本田 昌實*

1. はじめに

コンピュータの技術革新はここ当分、半導体集積回路の技術進歩に大きく依存してゆくであろう。蒸細加工技術と新しい化合物半導体の組合せによる素子の高集積化、高速化、および低消費電力化は新たな実装・冷却技術とともに、より高性能でよりコンパクトなマシンの出現を促してきた。

VLSI 技術を基盤とした第五世代コンピュータをはじめとして、マイクロエレクトロニクスによる高度情報化社会の到来はもうそこまでの感がある。ところが最近、どうも気になることがコンピュータ現場に見受けられる。それは原因不明なトラブルの急増と静電気放電(ESD)の問題である。

2. 原因不明トラブル

大規模オンラインシステムが、突然停止することがある。このときのエラーメッセージ(コンピュータの自己診断プログラムが介在)は主記憶装置内の番地指定レジスタでパリティ検査が計算と合わないという内容であった。保守技術者が早速、問題と思われる回路基板(PCA)を抽出し予備PCAを装填する。ただちに再起動がかけられシステムは再び順調に稼働し続ける。その後問題のPCAを徹底的に調べるのだがどのように挿すぶっても悪いところが見当たらない。PCA 個だけではなく中央処理装置(CPU)側も点検を行なうのだが、何も障害に結びつくようなポイントは検出できない。

またあるときは県下の支所と計算センター間のデータ交換が止まってしまった。東京からの遠隔診断によるとCPUと通信制御装置間にあるユニットのPCAに原因があることがわかった。保守技術者が駆けつけて予備のPCAと交換し正常に復帰したのを確認して客先にシステムを引き渡した。ところが数日後、再び同様な障害が発生したとの報が入り、ただちに大勢の技術者が現地に派遣された。到着してみるとすでにシステムは客の手により立ち上がっていた。稼働環境も含めて厳重な調査・

点検が実施されたが、このときも問題点はなんら発見できなかった。念のため、1回目の障害で使用した予備のPCAを持ち帰り、改めて種々の試験を行なうことにした。その結果、ある論理IC(ECL)のスイッチング特性にわずかながら変化が認められたが、これをコンピュータに実装してみても正常に動作するのである。

どちらの例にしても結論ははっきりせず、現場の保守技術者にとっては何とも割り切れない感じだけが残り後味が悪いのである。これが客の立場からするといっそう深刻で、いつまたこの手の障害が再発するのかといった不安を抱くことになり、メーカーへの信頼が揺らぎかねない大問題に発展するおそれさえある。

これらの障害にどの程度静電気が関与していたかは別として、最近「原因不明」、「幽霊・お化け」あるいは「トラブルが見つからないトラブル」として現場で葬り去られるケースが急増している。

3. 間欠障害

帯電した状態で静電気が原因で障害に至るケースもあるが、コンピュータ等のエレクトロニクスにあっては静電気が瞬時に放電したときの“衝撃”によって被害を受けることが多い。ESDは未知の分野が多いが、エレクトロニクスに対する非熱的な影響としては以下のような作用形態があると考えられる。

- 1) 半導体素子に対し電氣的オーバーストレス(EOS)として作用する→永久障害または間欠障害の発生
- 2) 通電された電気・電子回路に対し電磁妨害(EMI)として作用する→間欠障害の発生

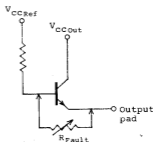
静電気によるEOSが半導体素子に加わった場合、完全破壊に至らないで、部分損傷あるいは潜在的な劣化(latent failure)を招くことが多い¹⁾。

たとえば論理ICのなかでゲートを構成するトランジスタのベース-エミッタ間がESDダメージにより部分損傷すると、このトランジスタの漏れ電流が増加しスイッチング特性に影響を与える。図1はECL論理ICの出力ゲート部(エミッタ)におけるESD損傷例とそとの等価回路を示す。このICがコンピュータに紛れ込

* 日本ユニパック(株)(107 東京都港区赤坂 2-17-51)



(a) 論理 IC エミッタ部の ESD による損傷



(b) 等価回路

図 1 ECL 論理 IC の ESD による損傷例とそのときの等価回路

表 1 ESD によって引き起こされるエレクトロニクス障害の例

対象	問題点と限界
半導体素子	<ul style="list-style-type: none"> ▷ ESD 対策を施すと速度が上がらない, またはチップ面積の増大を来たす ▷ 静電気帯電電圧と素子の絶縁耐圧の比が増大の一途 $> 10^2$ ▷ 放電エネルギーと素子動作エネルギーの比 $> 10^3$ 倍 ▷ ESD によって生じる電磁パルスに十分応答する速度を有してきた
P C A	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 回路間の遅れ時間, 最小動作パルス幅および ESD によって生じる電磁パルスの 3 者が接近してきた ▷ 多層化, 高密度配置化により高速パルス伝送路のクロストークが増大してきた ▷ 1 板の PCA 上に多くの機能を搭載しているため, ESD による生存確率が低下してきた
装置/システム	<ul style="list-style-type: none"> ▷ プラスチック化により電磁シールド能力が低下 ▷ 高機能化により同一ユニットに対し多くのケーブル類が入りし, EMI 作用断面積が増大 ▷ マンマシンインタフェースの発達により人間が装置に近づく機会が増えた
その他	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 静電気も含めた電磁環境に対する調和 (EMC) の不足 ▷ 静電気および ESD 計測技術の未熟 ▷ 他の見えざる脅威と ESD との複合作用による影響力の評価不足

んでいると, 一時的にビット欠落または追加, あるいはタイミングのズレ等の間欠障害を引き起こすことになる。始末の悪いことにこの状態は長くは続かず, ある時間 (秒未満のことが多い) 経過すると正常に復帰してしまふ。再発する間隔は一定ではなく, その後のストレスの加わり方にもよるが長いときで数週間にもなる。ある種の高速論理回路ではわずか 400 ps のタイミングの“ゆらぎ”に敏感であるが, これを現場で長期間にわたって監視・捕捉することは非常に困難なことである。

一方, ESD による EMI 作用は一過性の障害を引き起こす点で先の EOS によるものと症状が似ている。このため, とくに初期の段階でのトラブルシューティングに際し判断に苦しむことがある。

たとえば帯電した金属製の台車がコンピュータのそばに置いてある金属製の間仕切りパネルに触れたとする。

このパネルは過渡電磁界を周囲に放射し, 付近の信号ケーブルに雑音が誘起される。妨害波の一部は筐体上にある構造的な狭い間隙からも内部に侵入する³⁾。この手の障害は人体からの直接的な ESD ではないために本人の自覚がなく, 後からの原因追及が困難となる。

人体 (ほとんどの場合指先) からの直接的な ESD と比較しコンピュータ以外の金属物体間における ESD の EMI 作用は, 必ずしも放電電圧に比例しないことが実験により確かめられている^{3,4)}。そして経験的に誘導・放射によるコンピュータへの妨害機会が多いことも事実であり, 人体からの直接的な ESD よりも強い EMI 作用を呈することがある。

やや次元は異なるが信頼性評価の問題がある。システムの信頼度を算出するにあたっては, 種々の確率モデルを用いてシミュレーションを行なうが, いずれの場合も

「故障は継続する」・「故障率は時間に対し一定である」という条件を前提としている。ところが ESD による間欠障害のように故障が故障として認識されない状況ではまったく計算にのらないのである。何よりも問題なのはエンドユーザからの「生の声、データ」が設計側にストレートに届かないところに事態の深刻さがある。

4. エレクトロニクスの脆さ

ESD の説明は未だ不十分な状況にあるが現実には多くのエレクトロニクスが影響を受けている。表 1 は ESD に対応する幾つかの問題点と限界である。結局のところ、ESD に敏感な半導体を用いる以上、本質的に脆弱であると考えざるをえない。この宿命的な問題は技術的な達成度を高め、高信頼化技術を採用し、システム規模の最適化を図り、集中・分散処理を適度に織り交ぜ、そして動作責務を軽くしたとしてもなんら解決できないであろう。

5. おわりに

ESD の脅威は厳として存在する。しかもこの脅威は半導体技術が進歩すればするほど増大する厄介な代物で

ある。

静電気と人類は永い間共存してきたしこれからもこの状況は変わらないであろう。マイクロエレクトロニクスによるコヒーレントな高度情報化社会の次は何か、人工頭脳と人類が敵対する局面があるかもしれない。そのときこそ、この憎むべき ESD がわれわれの味方になると思われるのだが、なぜならば ESD はこの世の中でもきわめて“自然な現象”であるからだ。

参 考 文 献

- 1) DOD: *ESD Control Handbook for Protection of Electrical and Electronic Parts, Assemblies and Equipment*, DOD- HDBK-263 (1980)
- 2) 本田昌實, 川村雄克: 電子通信学会技術研究報告, EMCJ 83-75 (1983)
- 3) 本田昌實, 川村雄克: 電子通信学会技術研究報告, EMCJ 83-86 (1984)
- 4) M. Honda and T. Kawamura: *Proceedings, EOS/ESD Symposium*, EOS-6 (1984)

(1984年12月10日受理)

賛助会員紹介欄新設のお知らせと紹介記事の公募

静電気学会誌では、賛助会員相互の交流、情報交換を促進させるため、また賛助会員皆様方のアクティビティを一般会員に紹介するために、新しく「賛助会員紹介欄」を設けることになりました。この欄では、賛助会員皆様方の会社概要、事業内容、新技術、開発製品の紹介を始め、会員への情報提供の場としても積極的にご活用いただきたいと存じます。

学会へへの有益な情報提供、学会へのご意見等、内容は問いませんので、400字詰原稿用紙10枚以内(図、写真が含まれる場合は、1点につき原稿枚数2枚と計算)におまとめいただ

き、下記までご送付ください。賛助会員紹介欄の掲載は第9巻第1号からで、ご投稿いただいたものは編集委員会に掲載決定し、順次掲載いたします。記事の公募期限はございませんので、賛助会員の皆様方は奮ってご投稿くださいますようご案内申し上げます。

原稿送付先: 〒113 東京都文京区湯島 2-30-9

(財)学会誌刊行センター分室

静電気学会誌編集委員会 宛