

障害発生源としての静電気放電

障害発生源としての静電気放電現象に関する調査専門委員会編

目 次

1. 概論 静電気放電による障害	3	3. 障害事例とその対策技術	28
2. 静電気現象の基礎・発生メカニズム	4	3.1. 電子デバイスにおける静電気破壊と対策	28
2.1. マイクロギャップ放電・絶縁破壊特性	4	3.1.1. 電子デバイスの静電気破壊と要因	28
2.1.1. マイクロギャップ放電現象	4	3.1.2. 浮遊物体間放電	28
2.1.2. 直流電界下における絶縁破壊電圧測定例	4	3.1.3. 障害発生源としての放電エネルギーと電流の関係	29
2.1.3. 修正 Paschen Curve	5	3.1.4. 電子デバイスにおける静電気対策概要	33
2.1.4. インパルス電圧印加時の放電特性	7	3.1.5. イオナイズ基本原理	35
2.1.5. 交流リーダ状沿面放電の発生・進展抑制例	7	3.1.6. イオナイズ除電特性と適用効果事例	37
2.1.6. 大気中における数 μm 以下のマイクロギャップ放電	10	3.1.7. イオナイズにおけるイオン電流センシング技術	43
2.2. 絶縁体表面帯電特性	16	3.1.8. イオナイズにおける課題と対策技術	44
2.2.1. 接触帯電	16	3.1.9. その他の静電気対策技術	45
2.2.2. 絶縁体帯電表面とプラズマ処理	16	3.2. 各種製品での障害事例・対策技術	47
2.2.3. 絶縁体表面帯電による静電気放電電流特性	17	3.2.1. HDD	47
2.3. 帯電体からの静電気放電特性	19	①ハードディスクドライブ (HDD) の概要	
2.3.1. 帯電した人体からの静電気放電特性	19	②ハードディスクドライブ (HDD) の基本構造	
2.3.2. 帯電した金属からの静電気放電	22	③HDD 内における障害発生要因	
2.3.3. 放電電流波形の時間-周波数解析	26	④次世代 HDD における諸課題	
		3.2.2. 磁気テープ	54
		①磁気テープにおける静電気破壊	
		②磁気テープの帯電特性	
		③磁気テープにおける対策技術	
		3.2.3. 回路基板イミュニティ	59
		①人体等帯電物からの ESD 障害の概要	
		②帯電物からの ESD のモデル解析	
		③電磁界シミュレーションでの静電気解析	
		④プリント基板上での対策手法	

障害発生源としての静電気放電現象に関する 調査専門委員会委員

委員長	小田 哲治(東京大学)	委員	岡野 一雄(職業能力開発総合大)
幹事	熊田 亜紀子(東京大学)	〃	津波古 和司(株 H G S T)
〃	山城 啓輔(富士電機(株))	〃	早田 裕(元ソニー(株))
幹事補佐	吉田 孝博(東京理科大学)	〃	寺重 隆視(広島国際大)
委員	増井 典明(東京理科大学)	〃	大津 孝佳(鈴鹿高専)
〃	山野 芳昭(千葉大学)		

1. 概論 静電気放電による障害

静電気放電による影響には、様々なものがある。そもそも静電気問題の最初は、着火現象であるとされている。特に、20 世紀中頃からエネルギー源のみでなく衣料をはじめ多くの素材として石油が利用されるようになって以来、産業的にも静電気問題が大きくなってきた。遡ると、ギリシャ時代から静電気力や稲光などについての科学的な記述が残されており、静電気の歴史は極めて古い。

ここで我々が認知できる静電気現象は、静電気放電と静電気力に分類できる。後者は、ゴミの付着、衣類のまとわりつきなど嫌な現象も多いが、電子写真、静電塗装など多くの産業応用での利用も進んでいる。コンピュータ出力のひとつ、プロジェクターでは DLP の名称で使われる画像出力は、静電気力によって 1 画素ずつ制御している。一方、静電気放電は、最も強力なものとして雷現象が広く知られている。かつては、静電気そのものによる着火の例は少なく、雷の結果、火災が発生することが多かったと思われる。ところが、今世紀中頃、石油文化の発展とともに、火災の着火原因として静電気が無視できない状態となった。例えば、1970 年代に複数の原油運搬タンカーが火災事故を起こし沈没した船もあるようである。こうした背景から、静電気の学術的な研究は、電気以外の分野から発達したところがある。その後、電気絶縁性に優れた合成繊維の発達は、火災とは別な面でも、微粒子の付着、衣料のまとわりつきなど数多くの静電気問題を引き起こすようになった。

半導体トランジスタの発明は、飛躍的な電子産業の勃興となったが、同時に、素子や機器の小型化、低電圧動作は、静電気による電子素子破壊や電子回路の誤動作発生を容易にしたことにより、安全、信頼性向上に大きな問題を引き起こしてきた。特に、FET あるいは MOSFET と呼ばれる電界効果トランジスタは、信号入力端子の入力インピーダンスが大きく、静電気により容易に破壊されることから、現在はその対策に多大の労力を費やしている。幸い、集積回路の進歩で、保護回路を内蔵するのが普通であり、素子完成以後の破壊は大幅に低減している。反面、現在の半導体製造装置では、数千ボルトの電源を多数使用しており、阻止破壊、更には、使用者の安全問題も見逃せない。また、ハードディスクの読み取りなどの磁気センサーには、磁性半導体を利用しているが、この磁性素子は極めて僅かな電圧（電流が流れる結果として発生する磁界）に敏感で数 V の帯電（pJ レベルのエネルギー）で誤動作することが知られている。人体が感じることでできるエネルギーは mJ レベルと言われているので 9 桁近い違いがあることになる。特に、低電圧での静電気放電は、短ギャップになることから、立ち上がり時間が ps（ピコ秒）と極めて高速なため高周波成分を大量に含んでいる。高周波特性を高めた電子素子は、わずかの時間であっても大きな高周波雑

音により破壊される、あるいは、誤動作するようになる。新たな高速電子素子が開発されると高速であるがゆえにわずかの電気（放電ノイズ）で誤動作、破壊が発生することから、静電気問題は常に存在すると言える。本資料では、このナノメータ領域での静電気放電による機器故障についてまで言及する予定である。