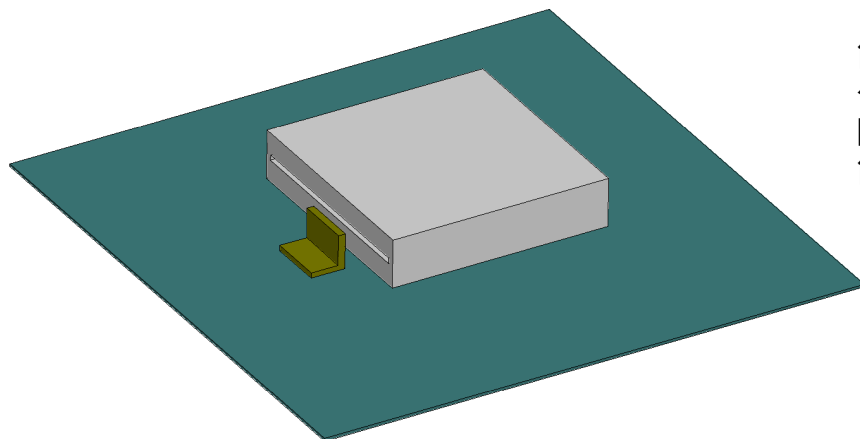


5.筐体設計の勘どころ

5-1. 筐体に開いた孔

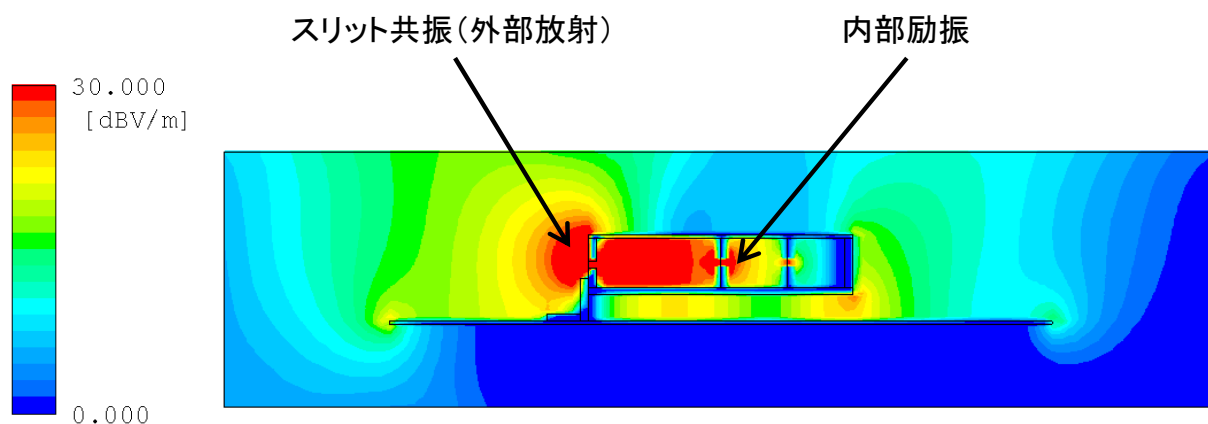
TEM セル試験等で外部妨害電磁界にECUシステムが曝された場合、筐体開いた穴からの電磁妨害波侵入が問題となる場合があります。そこでECUに開けたコネクタ取り付け孔を想定し、妨害電磁波の侵入を電磁シミュレーションで検証します。



筐体寸法 : 160 × 160 × 36mm
グラウンド寸法 : 400 × 400mm
隙間 : 150 × 5mm
筐体グラウンド間隔 : 20mm

筐体内部に電極を設けた場合の隙間の電磁的共振（スリットアンテナ効果）

外部電磁妨害波の隙間を通してのECU侵入を考える前にECU内部励振した場合の隙間の電磁的共振（スリットアンテナ効果）を検証してみます。



上記の断面図のようにスリットは内部励振に対して共振し外部に電磁波を放射します。
共振周波数は

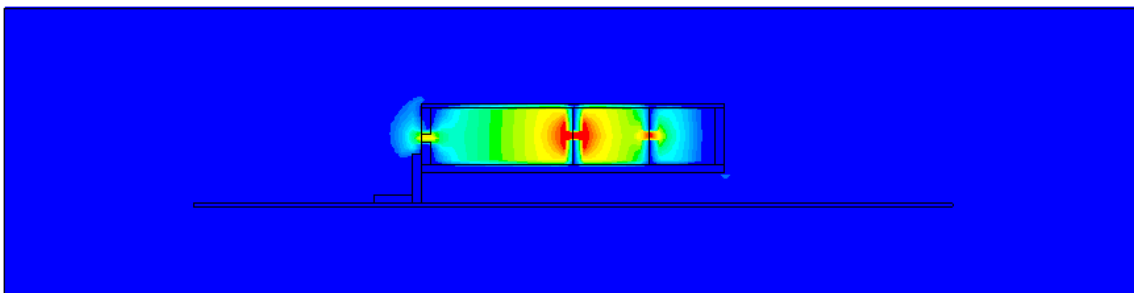
$$f=C/2L$$

C: 光速 (m/sec)

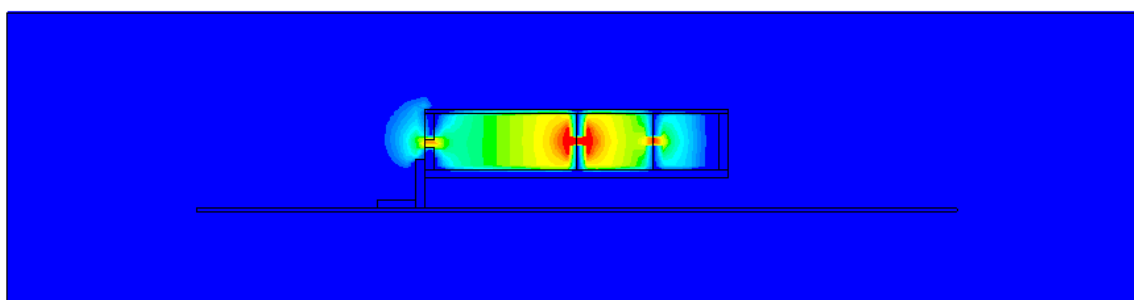
L: スリット幅 (m)

となりこのシミュレーション例では $f=1080\text{MHz}$ で共振しています。

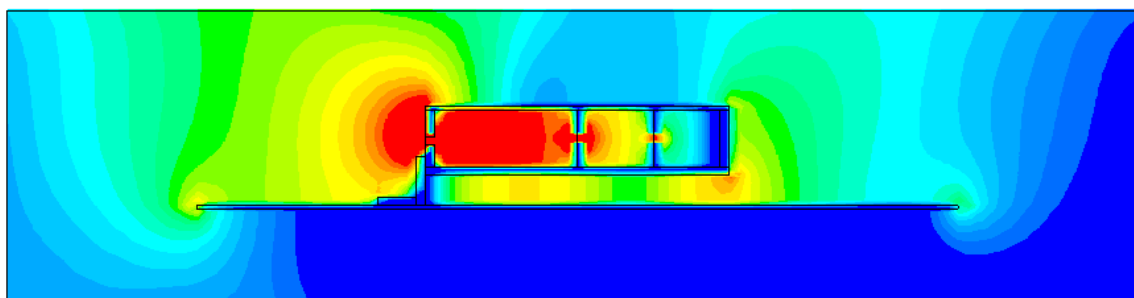
筐体に開いたスリットはその周波数の $\lambda/2$ の幅で共振します。一般的にこの周波数が遮断周波数になると考えて差し支えなく、遮断周波数以下の周波数は外部放射しません。



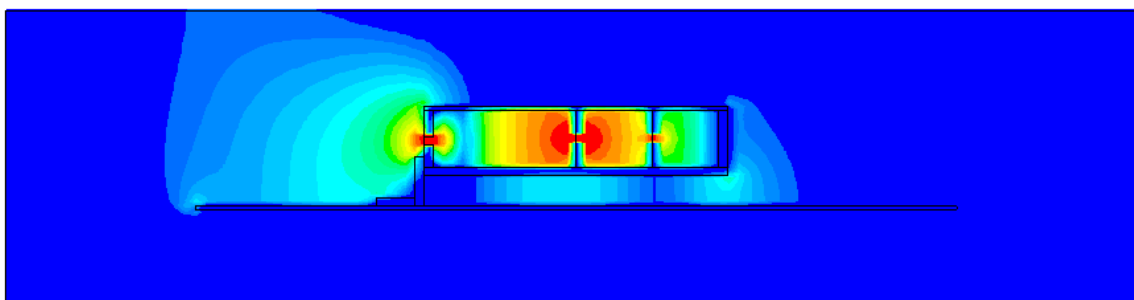
f=250MHz (外部放射無し)



f=500MHz (外部放射無し)



f=1080MHz (遮断周波数、共振、外部放射)

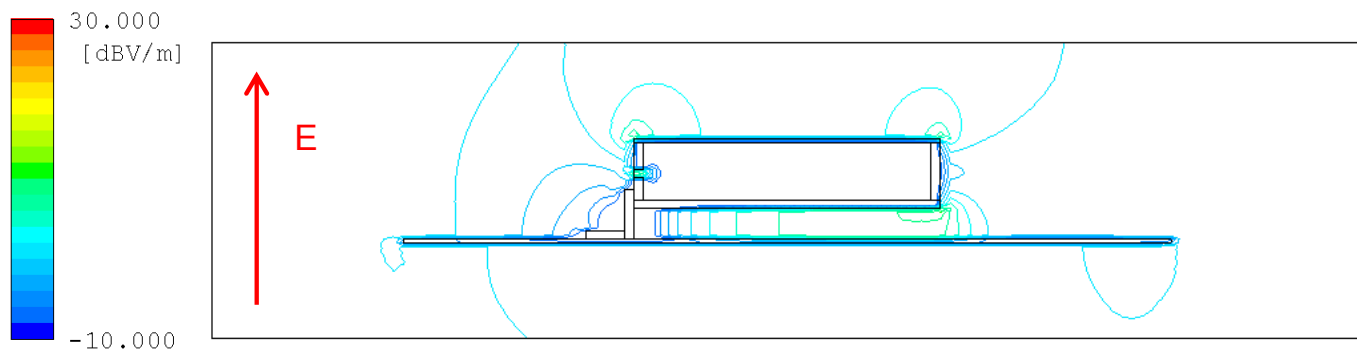


f=1500MHz (外部放射)

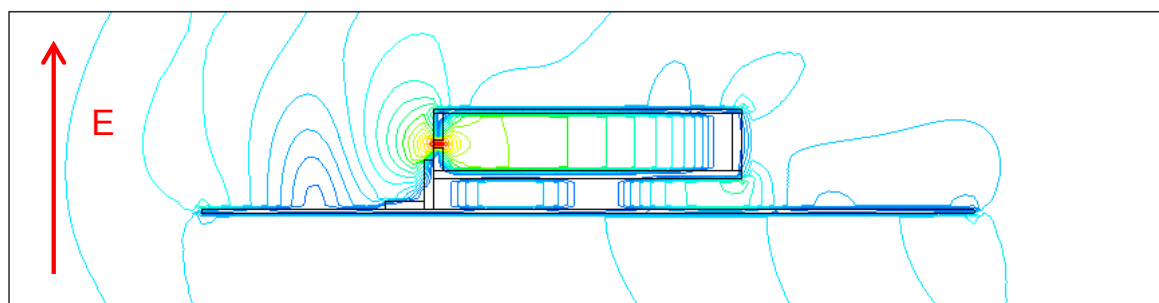
並行電磁界中の筐体スリットからの電磁波侵入

ECUが外部並行電磁界に曝された時の筐体に空けたスリットからの電磁波侵入のシミュレーション例を示します。

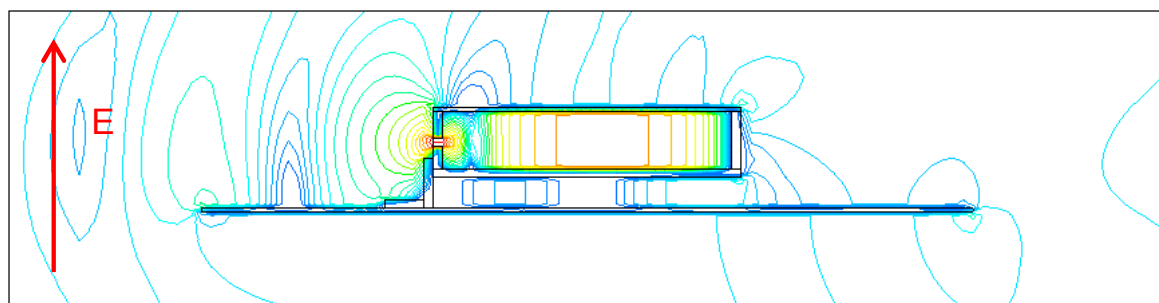
電磁波の放射と侵入は等価ですので、前頁の結果から明らかなようにスリットの遮断周波数以上の周波数の並行電磁界に曝されると外部電磁界の筐体内部への侵入が起こります。



f=500MHz (侵入無し)



f=1080MHz (共振、遮断周波数、侵入)



f=1500MHz (侵入)

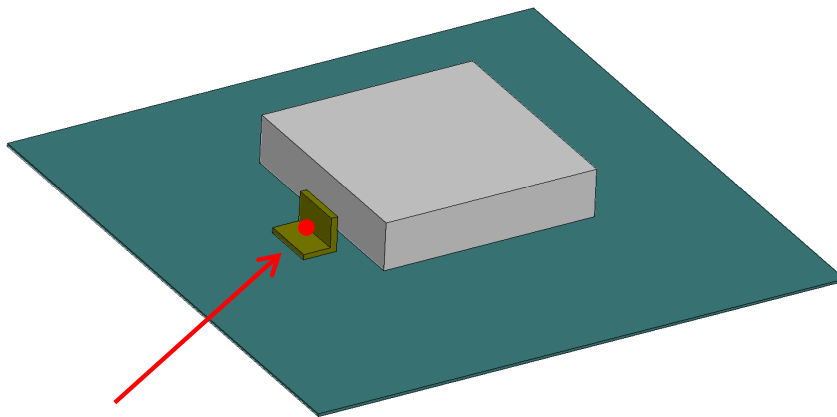
従ってコネクタの設置等でECU筐体を開ける孔(スリット)長は、その遮断周波数がTEMセル試験の試験周波数の上限周波数以上になるように設定する事が望ましい。

コネクタピン数等の関係で不可能な場合はコネクタを分割する等、常に遮断周波数を意識した設計が望ましいでしょう。

5-2. 筐体の電磁的共振

TEM セル試験等で外部妨害電磁界にECUシステムが曝された場合、筐体及びグラウンド取り付けブラケットで構成する金属構造自体が簡単に電氣的共振を起こします。筐体自体が共振した場合、当然PCB回路のグラウンド自体も共振しますので前述の共通モード/ノーマルモード変換が容易に発生し誤動作の原因となります。

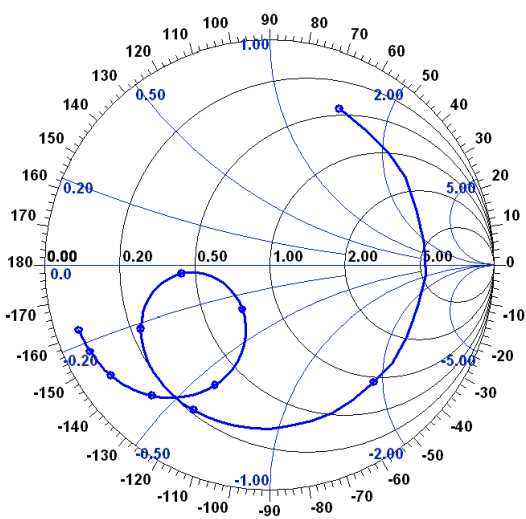
ブラケット部に給電点を設置した時のECUのアンテナ共振シミュレーション例



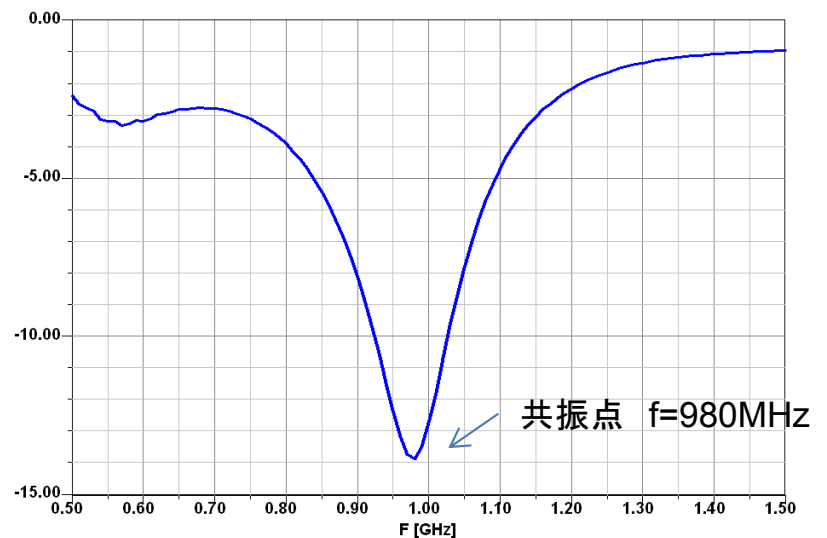
筐体寸法 : 160 × 160 × 36mm
グラウンド寸法 : 400 × 400mm
隙間 : 150 × 5mm
筐体グラウンド間隔 : 20mm

給電点設置

インピーダンス特性



リターンロス特性 ($|S_{11}|^2$)

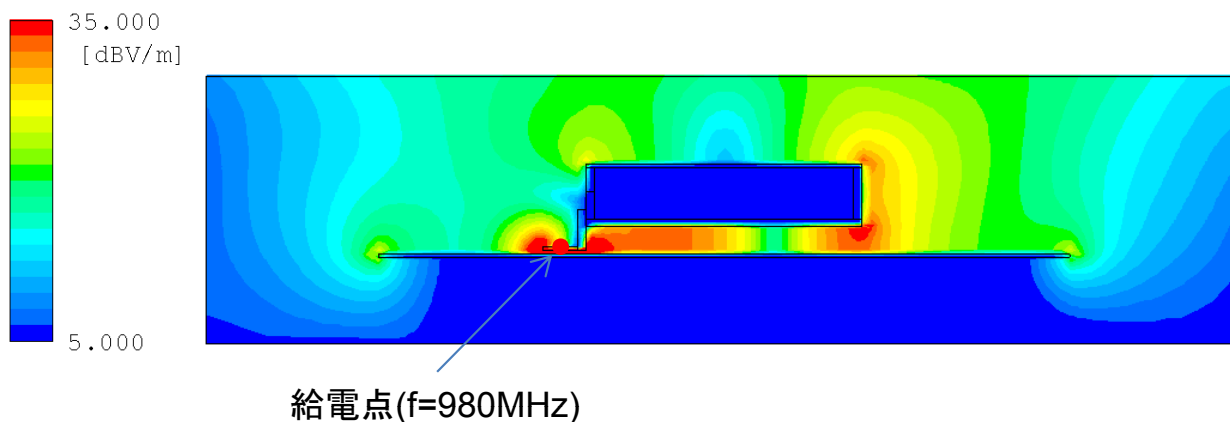


今回の例のように筐体をブラケット一個で筐体に接地した例では右記の周波数で電氣共振が生じます。

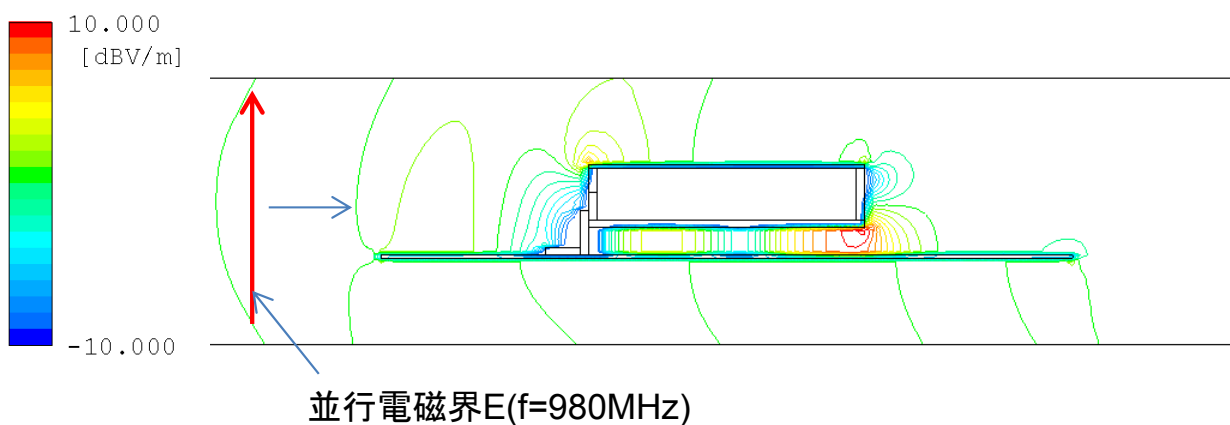
$$f=C/4L$$

C: 光速 (m/sec)
L: 筐体、ブラケット長 (m)

ブラケット部に給電点を設置した時のECUのアンテナ共振（周囲電磁界分布）



並行電磁界中のUCU共振（周囲電磁界分布）



並行電磁界に曝された時のUCU筐体の共振は、グラウンドへのブラケット取り付け個数や筐体形状により様々な共振モードが存在します。
今回のシミュレーション例は最も基本的ないわゆる $\lambda/4$ モノポールアンテナ共振モードです。

その他の共振モードに関しては今後の記事改訂で暫時加筆する予定です。（筆者）