

マイクロ波を用いた金属表面溝検出の検討（その2）

日大生産工（院） 志久間 仁
日大生産工 黒岩 孝
日大生産工 坂口 浩一
日大生産工 松原 三人

1. はじめに

現在，金属表面傷を検出する非破壊検査技術はあるがマイクロ波を用いた検討は少ない^[1]．そこで，我々は先に市販の同軸導波管変換器を用いて金属表面傷が検出可能であることを示した^{[2][3]}．しかしこのときは，同軸導波管変換器と金属表面は誘電体を挟み接触させてあり，一種の漏れ共振器として動作させていた．今回は同軸導波管変換器をアンテナとして用い，非接触状態で金属表面傷を検出することを目的に実験および解析より検討を行った．また，金属表面が誘電体で覆われていて傷が見えない場合についても検討を行っている．

2. 実験方法

本研究では X 帯の同軸導波管変換器を用いて金属表面傷の検出を行った．図 1 に実験系を示す．アルミ板に金属表面上の傷として幅 w [mm]，深さ d [mm]の導波管開口部に対して十分長い溝を設けた．使用した導波管の開口面の寸法は電界方向が 10[mm]，磁界方向が 23[mm]である．開口部と金属表面との距離を h [mm]とした．また，導波管の開口面中心を原点とし，磁界方向を x 軸，電界方向を y 軸と

座標を定めた．金属表面溝の検出方法としては金属表面に溝の無いアルミ板を基準とし，溝の有るアルミ板との S_{11} 振幅の差をとることにより検討を行った．また，金属表面の溝が誘電体で覆われて見えない状態での実験も行った．

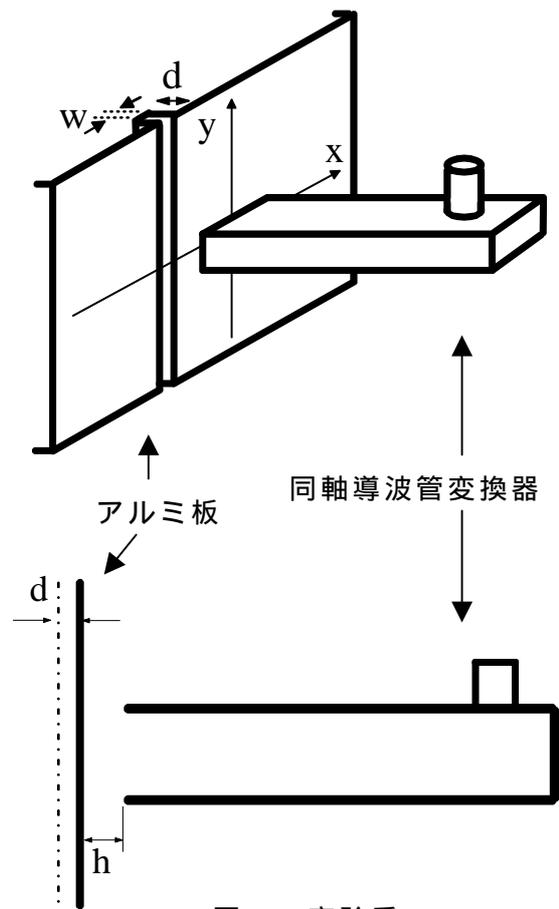


図 1 実験系

3. 結果

溝の位置に対する同軸導波管変換器の S_{11} の関係を求めた．ここでは， y 軸と溝が平行になるようにして， x 軸方向へ移動したときの実験結果を示す．図 2 に $w=1.0$ [mm]， $d=0.5$ [mm]， $h=1.0$ [mm] とし，各周波数での開口部中心からの溝の位置に対する S_{11} 変化量特性を示す．結果を見ると導波管の開口部から溝が離れていると S_{11} の変化は見られないが開口部に溝が来ると S_{11} の変化が徐々に大きくなっていき，開口部中央でその変化量は最大となる．この変化より金属表面溝の検出が可能であることが確認でき，この場合波長の約 $1/30$ の溝幅が検出できたことになる．また、どの周波数の場合にも同様の変化が現れているのが確認できるが，特に 11.05 [GHz] でその変化が大きく現れた．図 3 に距離を $h=2.0$ [mm] とした際の結果を示す．この場合でも $h=1.0$ [mm] の時(図 2)と同様な変化が現れ，溝の検出を行うことができた． $h=1.0$ [mm] の場合と $h=2.0$ [mm] の場合を比較すると距離に近い方が S_{11} の変化量が大きく，溝の検出が容易であることがわかる．また， $h=2.0$ [mm] とした方が S_{11} の変化がなだらになっていることがわかる．これは，開口部からの距離が離れたことにより開口より放射される電波が広がったためだと考えられる．

図 4 に溝が開口部中心にある場合における開口部から金属表面までの距離 h に対する S_{11} 変化量特性を示す．これより，距離 h に対して S_{11} 変化量は比例的に下がっていくことがわかる．また， $h=3.0$ [mm] までは S_{11} の変化量が大きいため溝の検出が可能であると考えられるが， $h=4.0$ [mm] とすると変化量が少なく溝の検出は困難となる．

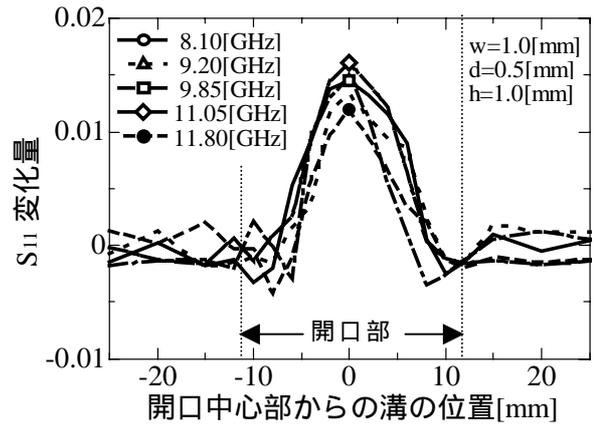


図 2 開口部からの溝の位置に対する S_{11} 変化量特性 ($h=1.0$ [mm])

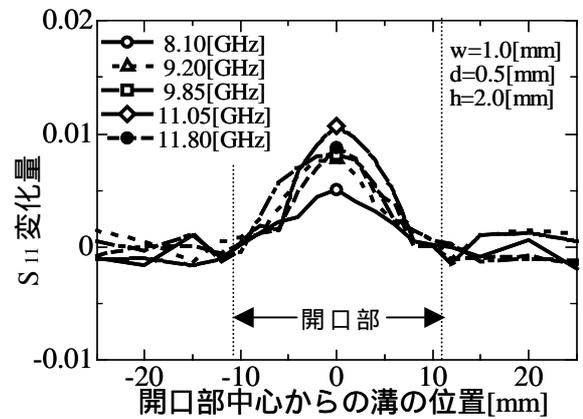


図 3 開口部からの溝の位置に対する S_{11} 変化量特性 ($h=2.0$ [mm])

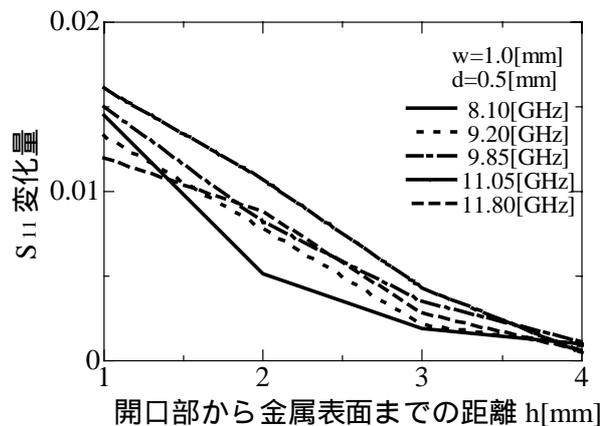


図 4 開口部から金属表面までの距離に対する S_{11} 変化量特性

先の報告^[2]より $w=0.2[\text{mm}]$ の溝検出ができることを確認している。そこで、溝幅を狭くした実験を行った。 $w=0.5[\text{mm}]$ の結果を図5に示す。この場合では $h=1.0[\text{mm}]$ としても開口部中心で S_{11} の変化をみることができず、現状の実験系では先の報告程度の溝検出は難しいことがわかった。より狭い溝幅の検出については今後の課題とする。

次に、一般的に金属表面は塗装状態で利用されることから、金属表面を誘電体の膜で覆った場合の実験を行った。結果は示さないが、誘電体膜で覆うとこれまで検出できていた $w=1.0[\text{mm}]$ 、 $d=0.5[\text{mm}]$ の溝を距離 $h=1.0[\text{mm}]$ とした場合でも検出できなかった。しかし、一般的には金属表面を塗装した際には溝が塗料で埋まることを考え、誘電体で金属表面を覆うだけでなく溝も誘電体で埋めて実験を行った。図6に結果を示す。溝を誘電体で埋めた場合には僅かだが開口部中心付近で S_{11} の変化が現れ溝の検出が可能となった。この理由については現在検討をしている。

これまでに示した実験結果より、同軸導波管変換器を用いて非接触状態での金属表面上の溝の検出が可能であることが確認できた。これは、溝検出時に導波管内の電界が変化しているためだと考え、合わせて解析も行った。図7に解析モデルを示す。解析にはFDTD法を用い、溝が開口部中心にある場合での解析を行った。この場合、解析対象は溝に対して左右対称となることから解析時間短縮のために解析空間を半分にして解析を行った。

図8に距離 $h=1.0[\text{mm}]$ とした場合の解析結果を示す。(a)に金属表面に溝の無い場合の開口部での電界分布を、(b)に $w=1.0[\text{mm}]$ 、 $d=0.5[\text{mm}]$ とした溝の有る場合での開口部の電界強度分布を、(c)に(a)と(b)の結果の差を示している。(a)と(b)を

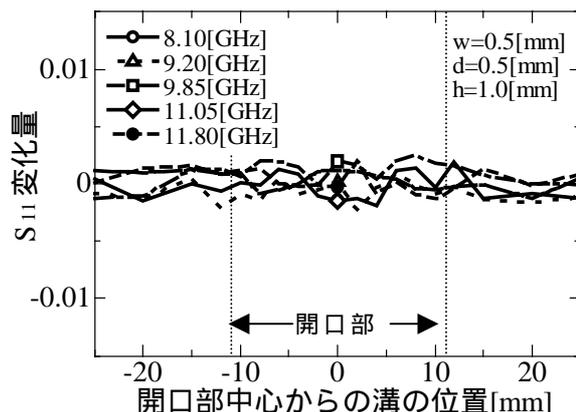


図5 開口部からの溝の位置に対する S_{11} 変化量特性($w=0.5[\text{mm}]$)

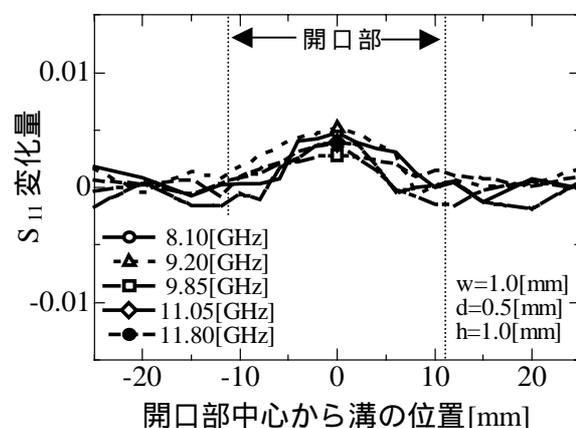


図6 誘電体で覆った場合の S_{11} 変化量特性

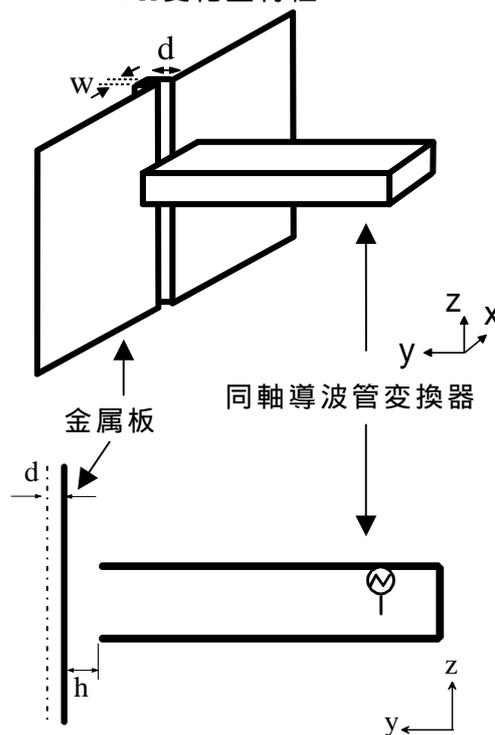


図7 解析モデル

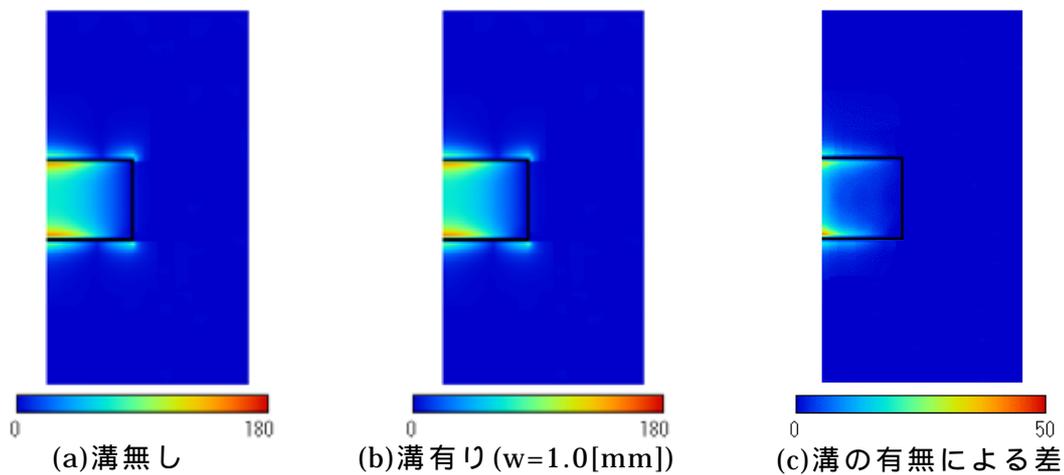


図 8 開口面での電界強度分布 (E_z 成分)

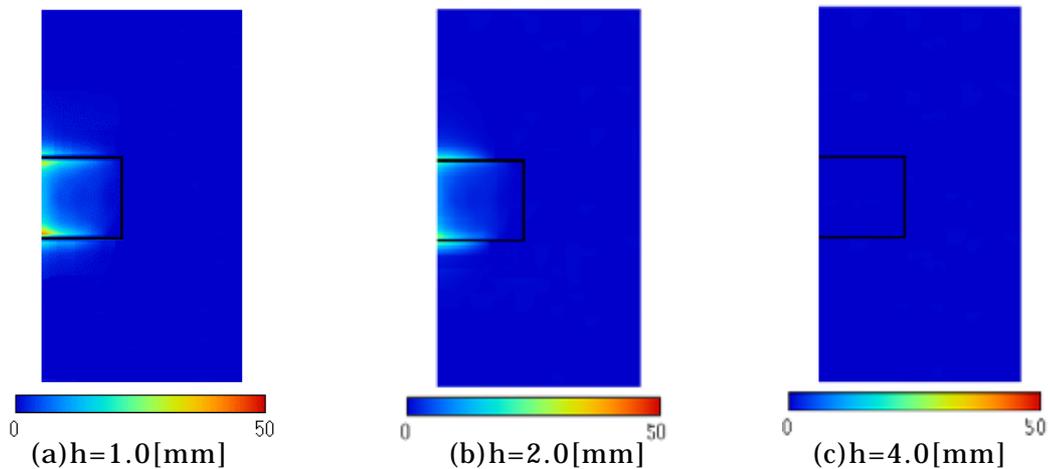


図 9 距離 h の変化による開口面上電界強度変化
(E_z 成分, $w=1.0[\text{mm}]$ 、 $d=0.5[\text{mm}]$)

比較するとその差はあまりないが、(c)を見ると開口部中央に金属表面溝の影響による電界強度の差が見られる。また、結果は示さないが溝幅 $w=2.0[\text{mm}]$ とした解析も行い、 $w=1.0[\text{mm}]$ の場合よりも開口部での電界強度の差が大きくなっていることを確認している。図 9 に $w=1.0[\text{mm}]$ 、 $d=0.5[\text{mm}]$ 一定にして距離 h を変化させたときの開口面における電界強度の変化を示す。(a)は $h=1.0[\text{mm}]$ 、(b)は $h=2.0[\text{mm}]$ 、(c)は $h=4.0[\text{mm}]$ の解析結果である。 $h=1.0[\text{mm}]$ 、 $2.0[\text{mm}]$ では溝の有無による電界強度の差が確認できるが、距離 h を $4.0[\text{mm}]$ まで離すと開口面内の電界強度分布に差が見られず、溝の影響が確認できないことがわかる。この解析結果は図 4 に示す実験結果を裏付けている。

4. まとめ

同軸導波管変換器を用いて金属表面上の傷を非接触状態で検出できることが確認できた。今回の実験結果から、波長に対して $1/30$ 程度の溝幅まで検出でき、また金属表面を誘電体の膜で覆い溝が見えない場合でも溝の検出ができることを示した。今後、溝の幅や深さ、角度など更に詳細な検討を進めていく予定である。

参考文献

- [1] C.Y.Yeh and R.Zoughi : IEEE, IM Vol.43, No.5, pp.719-725 (1994)
- [2] 服部,坂口,渡辺:2002年信学ソ大, C-2-66
- [3] 服部,坂口,渡辺:2003年信学ソ大, C-2-105
- [4] 服部,志久間,坂口,黒岩,松原:2004年信学ソ大, C-2-109