

# 三相PLCのシミュレーション (単相2線PLCとの比較, 第3線の影響)

NICT 篠塚 隆 (2018/10/11)

# シミュレーションの目的

## (背景)

1. 単相2線PLC機器は、コモンモードインピーダンス $Z_{com}=25\Omega$ 、ディファレンシャルモードインピーダンス $Z_{dif}=100\Omega$ 、 $LCL=16dB$ のISNを介してコモン電流を測定し、その許容値を満足するものとしている。
2. 単相2線PLCの許容値決定に於いては、日本の住宅における数多くのLCL実測結果から、 $LCL=16dB$ を採用している。
3. 三相PLCにおける許容値を議論・決定するには、三相電力線の各線間および各線と大地間とのインピーダンスに関する実測データが必須であるが、そのデータは未だ無い。

## (シミュレーションとその評価方法)

1. 単相2線PLC機器を三相電力線の2線に接続し、 $Z_{com}=25\Omega$ 、 $Z_{dif}=100\Omega$ 、 $LCL=16dB$ を負荷とする通信系を設定し、2線のみの場合のコモンモード電流及び磁界を基準とする。
2. 上記通信系に第3線を追加し、第3線の端子条件を開放/短絡/特定の負荷に設定し、その時のコモンモード電流および磁界を計算する。
3. 1の基準と2の結果を比較することで、単相2線PLC機器を三相3線PLCに使用した場合の第3線の影響を評価する。

# シミュレーション設定パラメータ

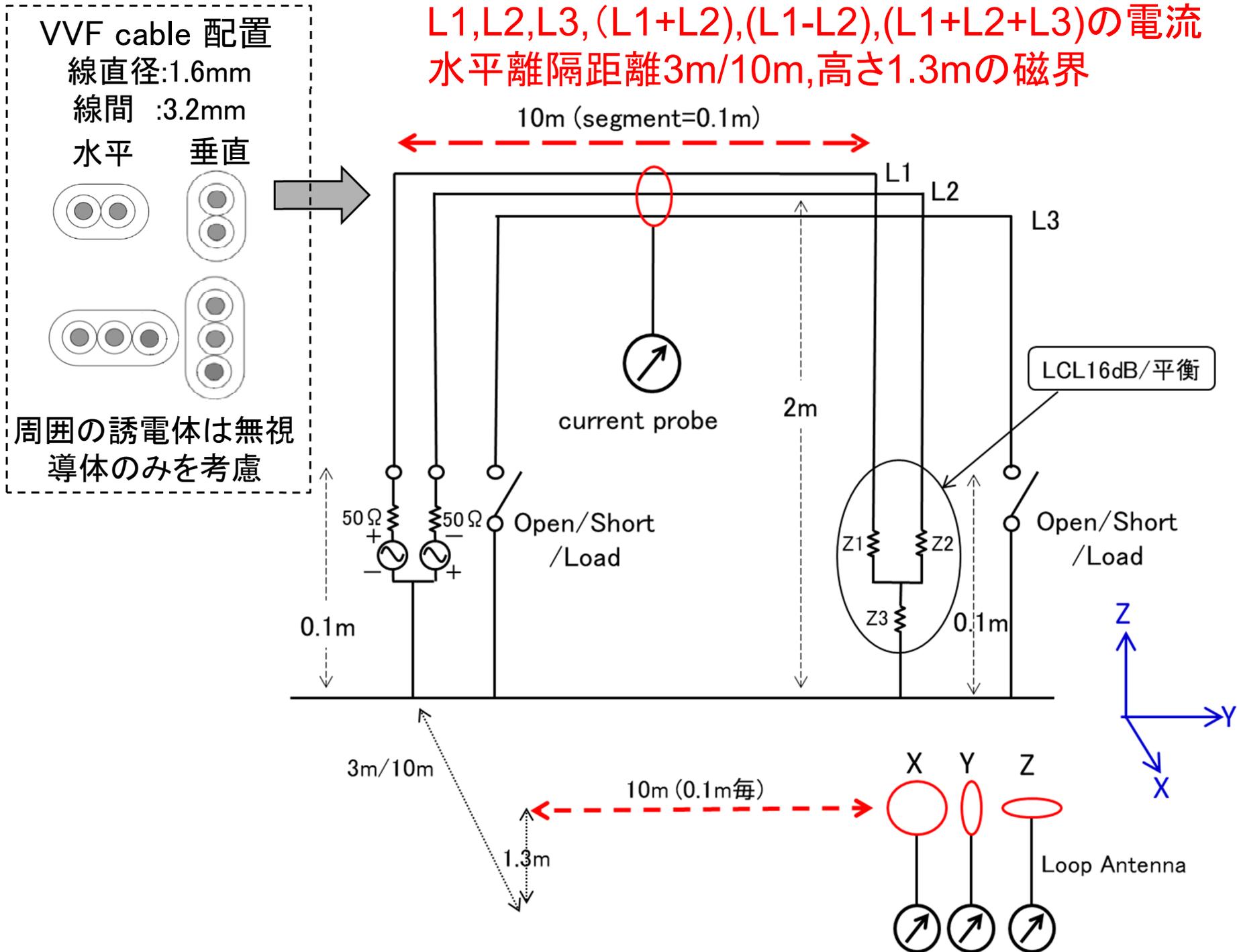
## 架空線の設定

- 架空線: 2導体/3導体, 導体直径1.6mm, 導体間隔3.2mmのVVFケーブル
- 導体周囲の誘電体は無視
- 導体配置: 大地に対して水平/垂直
- 架空線高さ: 大地上2m, 架空線水平距離: 10m
- 大地: 完全導体
- 電源: 1V(L1-L2線間),  $100\Omega$
- 2線負荷: T型,  $Z_{dif}=100\Omega$ ,  $Z_{com}=25\Omega$
- 2線負荷のLCL: 16dB/平衡
- 第3線の両端: 開放(**Open**)/短絡(**Short**)/ $15\Omega$

## シミュレーション計算

- NEC2を用いた. セグメント長は0.1mとした. (VVF1.6mm線路の特性インピーダンス理論値( $158\Omega$ )に対し, NEC2による計算値は $162\Omega$ (@10MHz)であり, 本モデルは妥当であると判断した)
- 2線の場合: L1, L2, (L1+L2), (L1-L2)の電流を計算した
- 3線の場合: L1, L2, L3, (L1+L2+L3)の電流を計算した
- 架空線から水平離隔距離3m/10mの磁界( $H_x$ ,  $H_y$ ,  $H_x$ )を計算した

# NEC2によるシミュレーション計算条件



# 2線PLCの場合

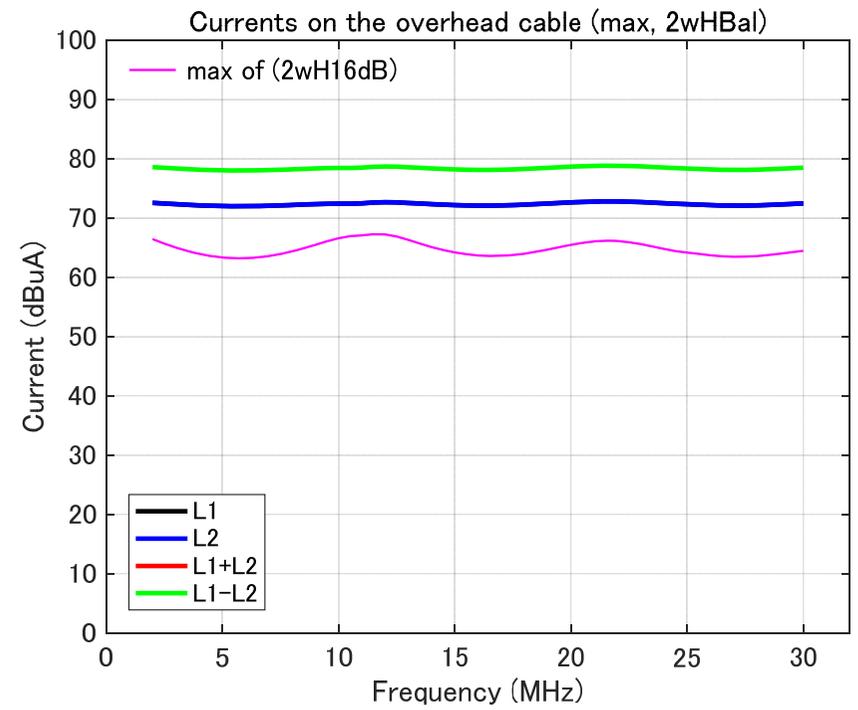
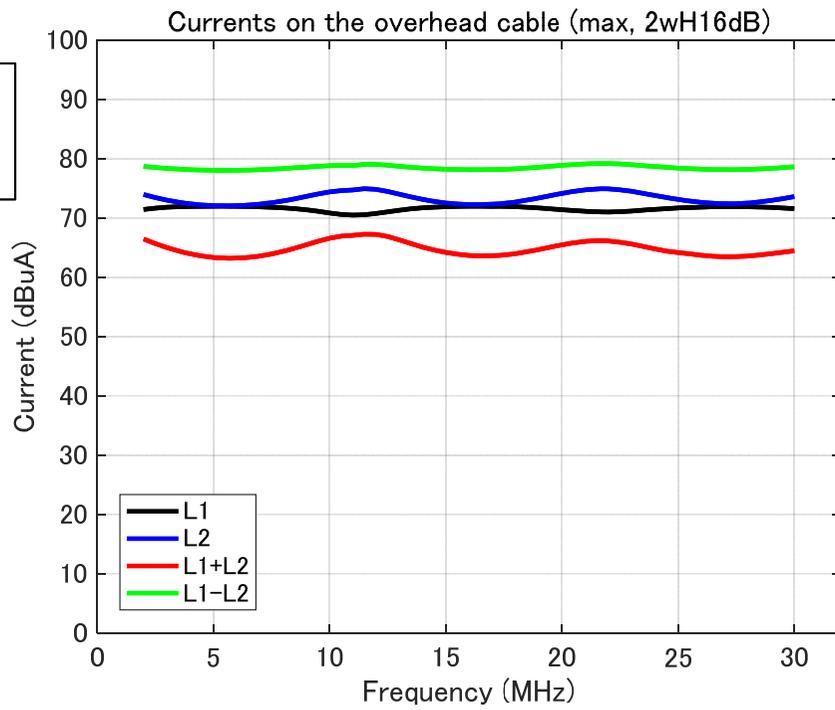
## (条件)

- 架空線配置: 水平(H)および垂直(V)
- L1,L2:  $Z_{dif}=100\Omega$ ,  $Z_{com}=25\Omega$
- 2線負荷のLCL: 16dBおよび平衡

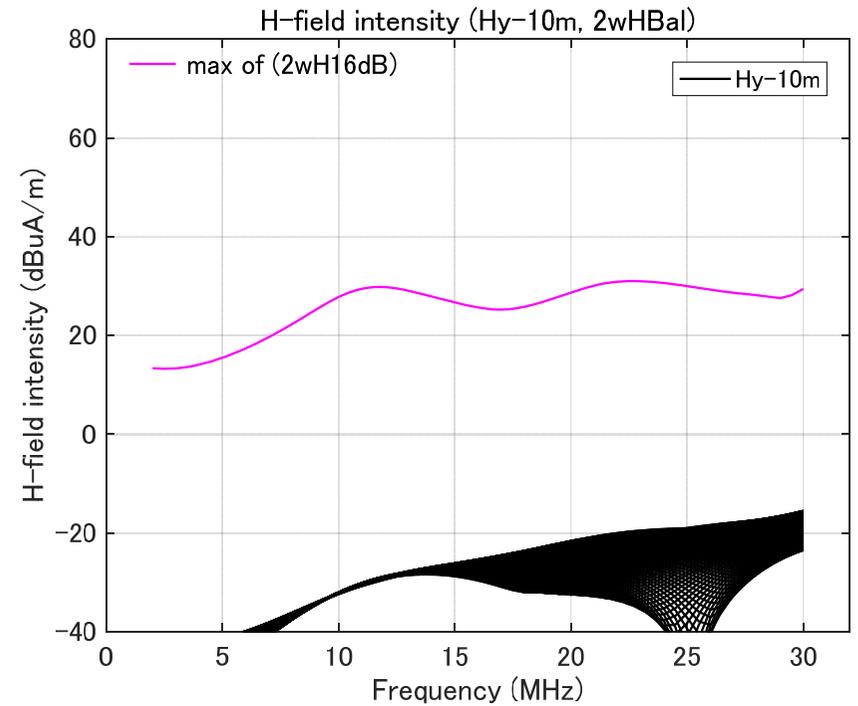
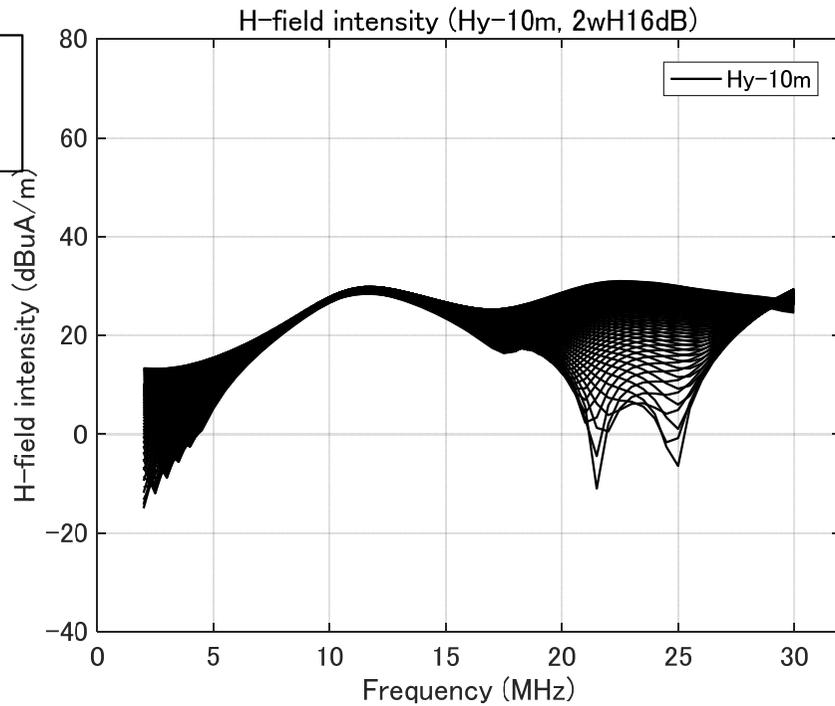
## (計算結果)

- 架空線100セグメントの電流周波数特性( $I_{L1}$ ,  $I_{L2}$ ,  $(I_{L1}+I_{L2})$ ,  $(I_{L1}-I_{L2})$ )の最大値
- 水平距離3mおよび10m, 高さ1.3mの磁界周波数特性の重ね書き
- 基準(2wH16dB:2線, 水平配置, LCL=16dB)と比較

# 電流



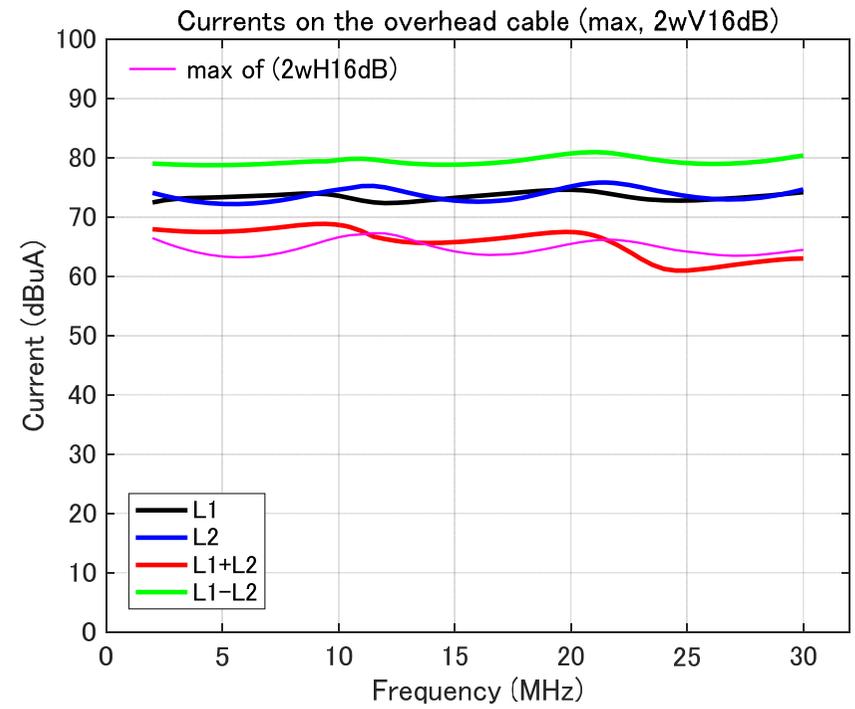
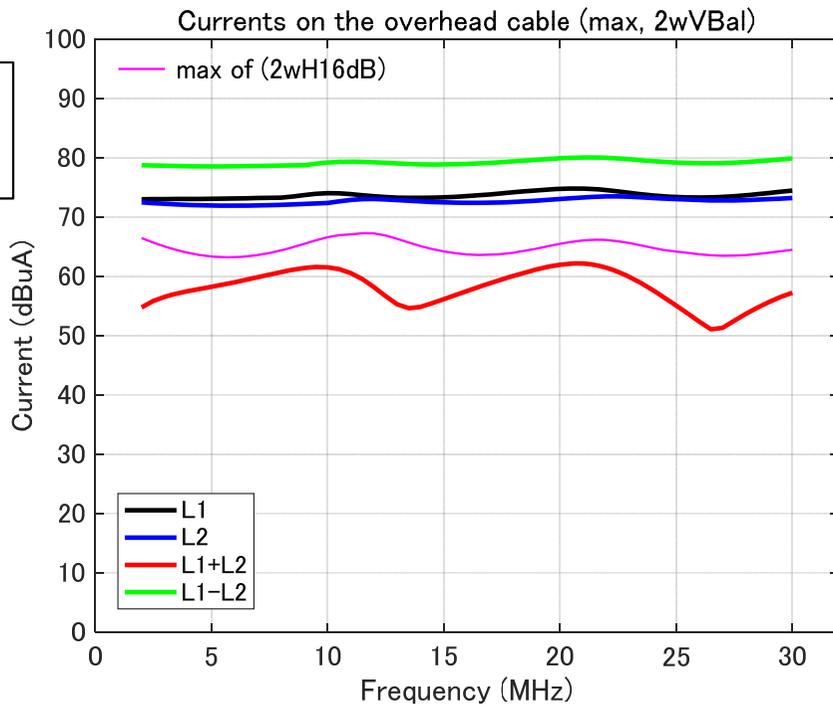
# 磁界



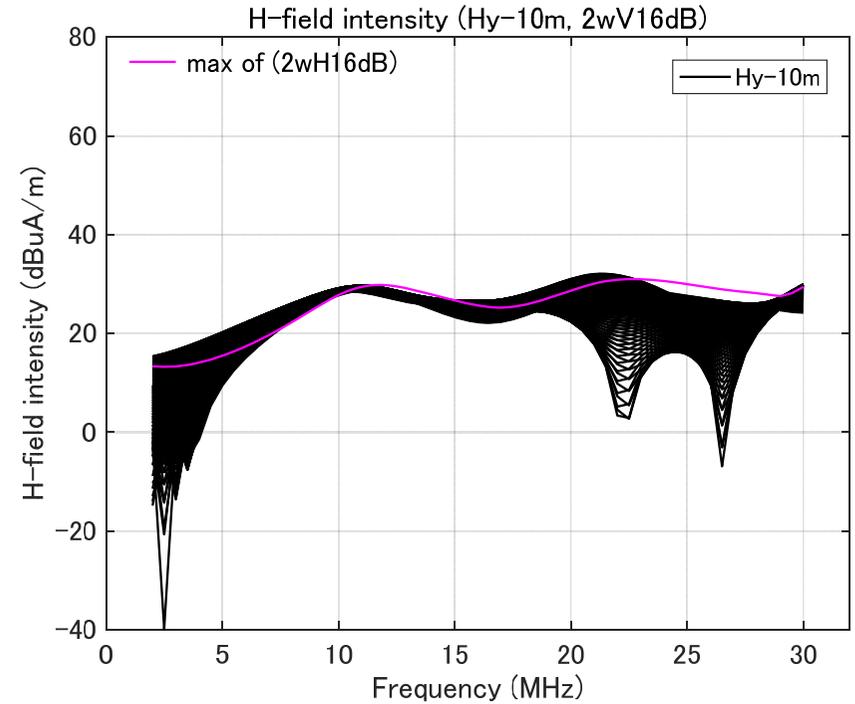
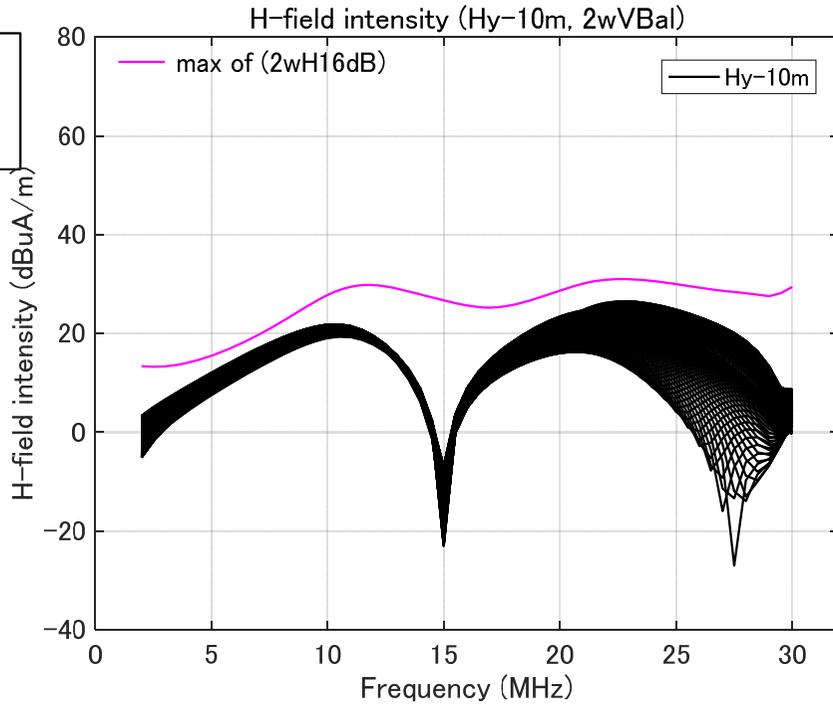
(2wH16dB): 基準

(2wHBal)電流 : 平衡なので生じない  
磁界: 基準より50dBdown

# 電流



# 磁界



(2wVBal)電流 : 基準より5dBdown  
磁界 : 基準より5dBdown

(2wV16dB)電流 : 基準と同程度  
磁界 : 基準と同程度

# 第3線を追加した場合

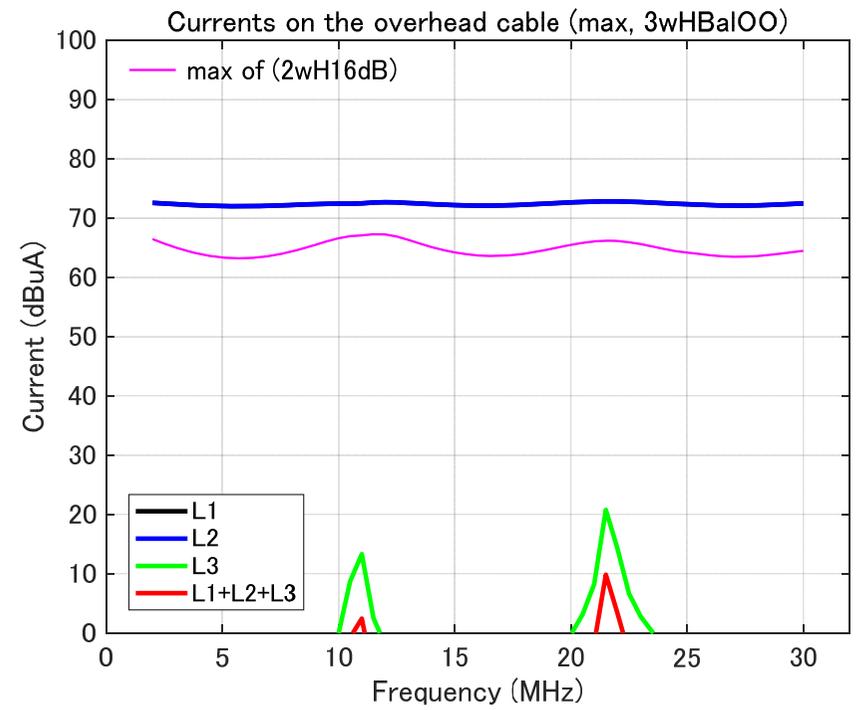
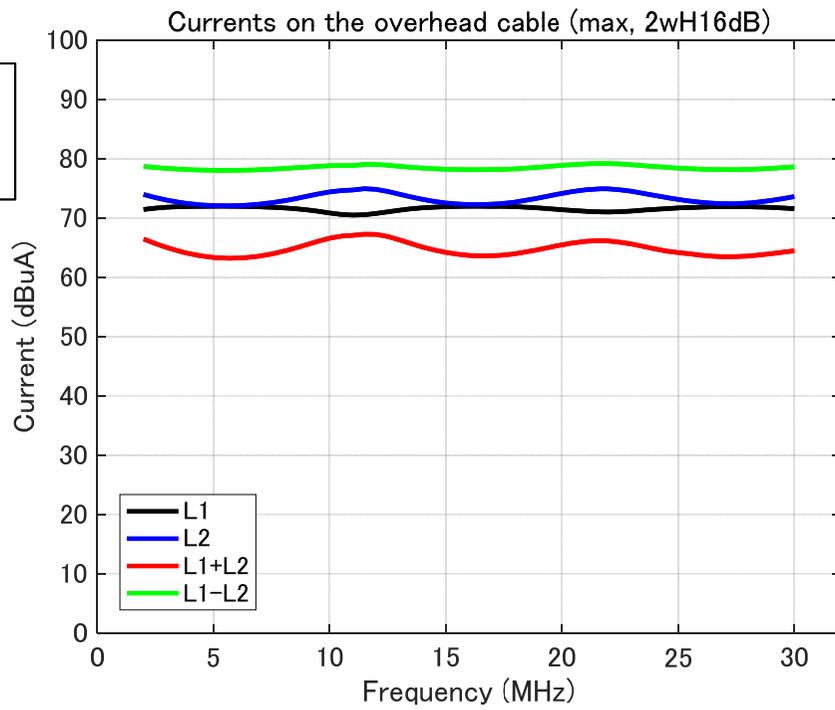
## (条件)

- 架空線配置: 水平(H)および垂直(V)
- L1,L2:  $Z_{dif}=100\Omega$ ,  $Z_{com}=25\Omega$
- 第1線と第2線間負荷のLCL=16dBおよび平衡
- 第3線を追加(両端=Open/Short/15 $\Omega$ )
- 表記例: OSは送信端がOpen, 負荷端がShortを示す

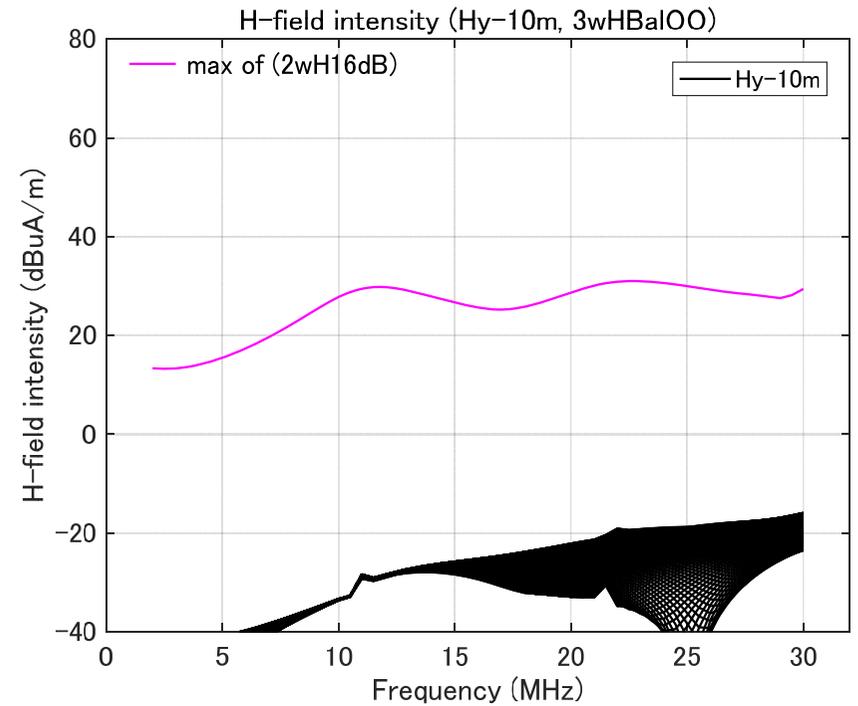
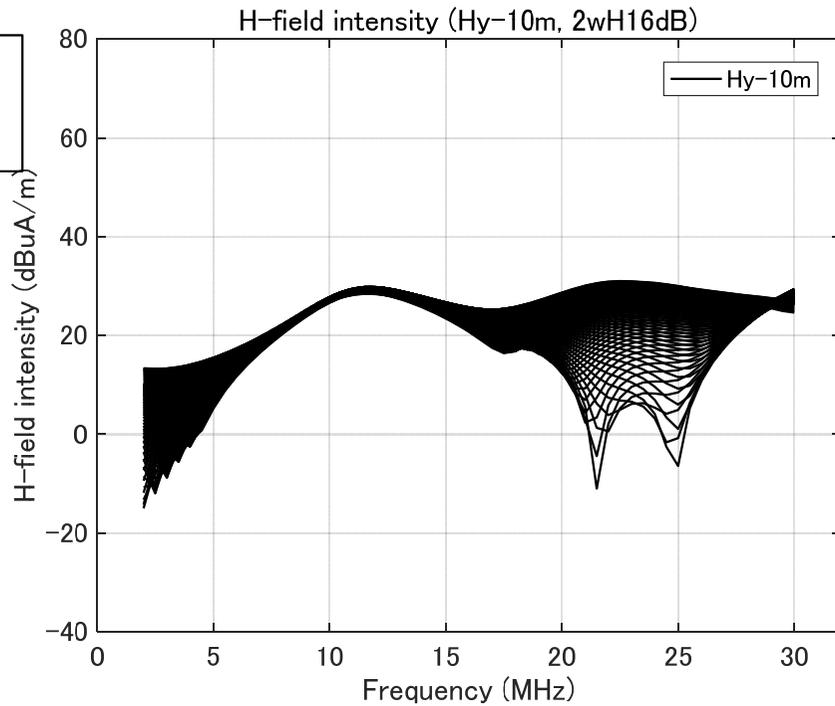
## (計算結果)

- 架空線100セグメントの電流周波数特性( $I_{L1}$ ,  $I_{L2}$ ,  $I_{L3}$ ,  $I_{L1}+I_{L2}+I_{L3}$ )の最大値
- 水平距離3mおよび10m, 高さ1.3mの磁界周波数特性の重ね書き
- 基準(2wH16dB:2線, 水平配置, LCL=16dB)と比較して第3線の影響を評価

# 電流



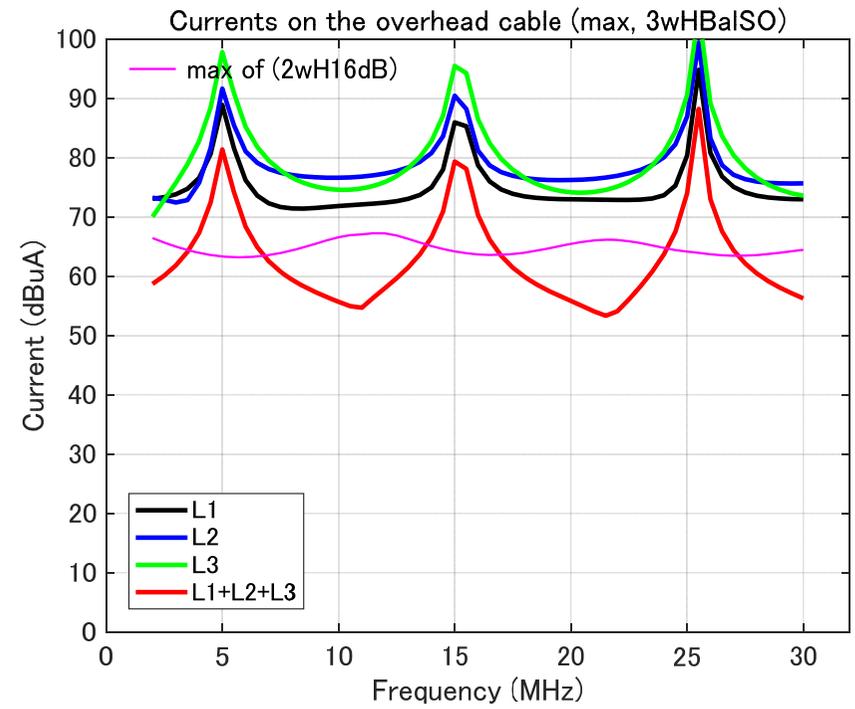
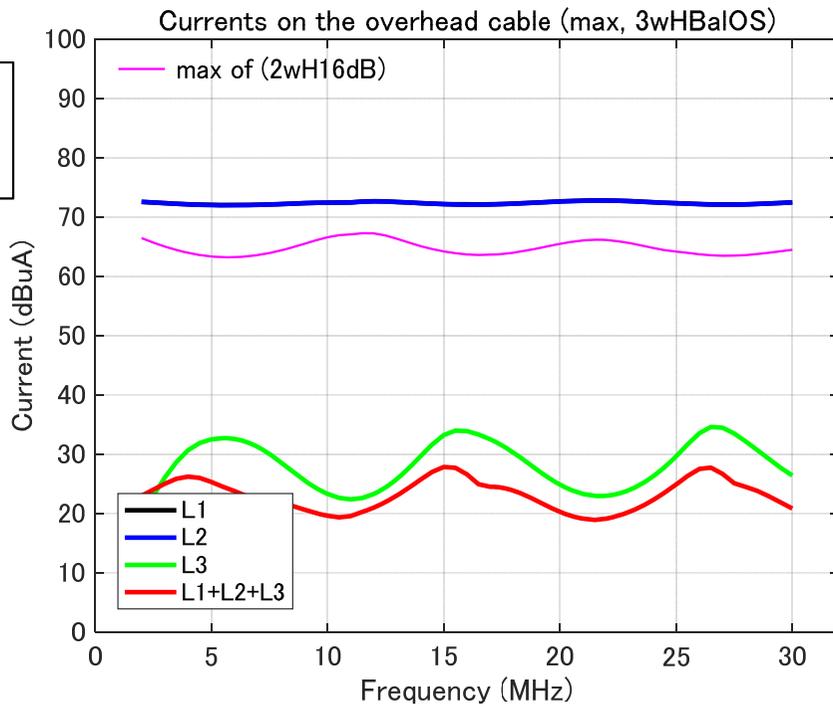
# 磁界



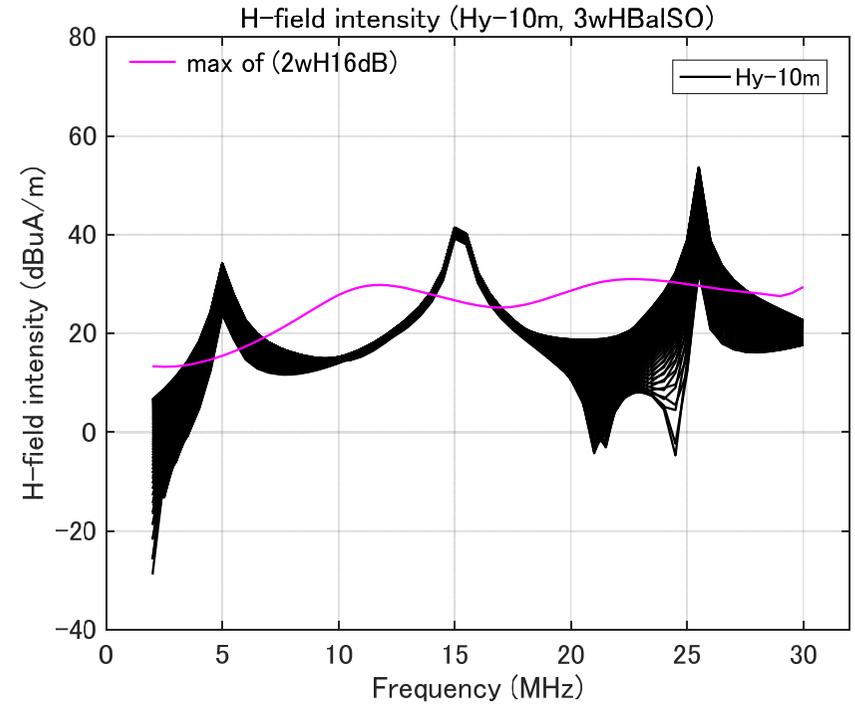
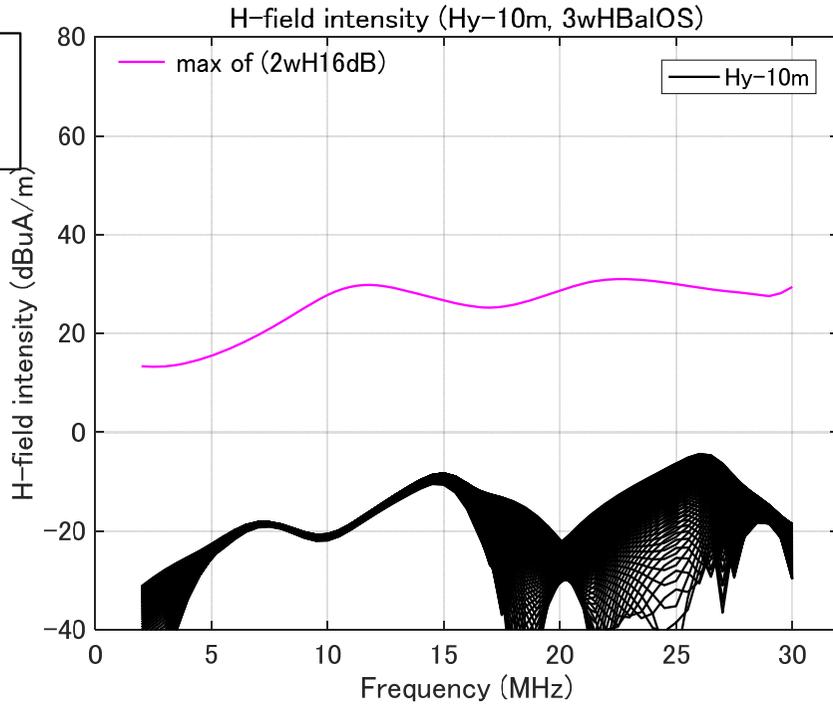
(2wH16dB): 基準

電流, 磁界: 基準より45dBdown  
第3線の影響無し

# 電流



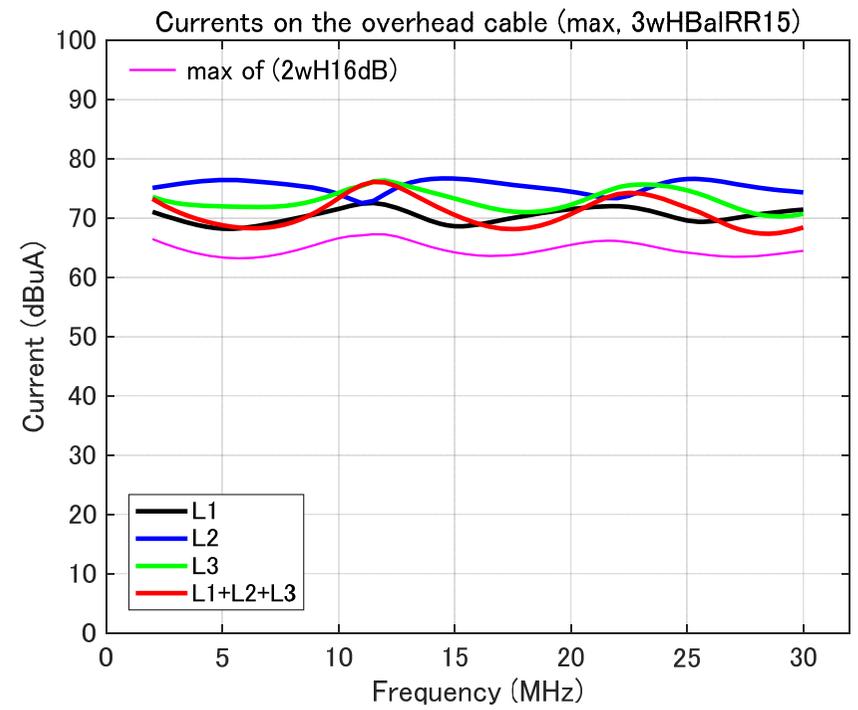
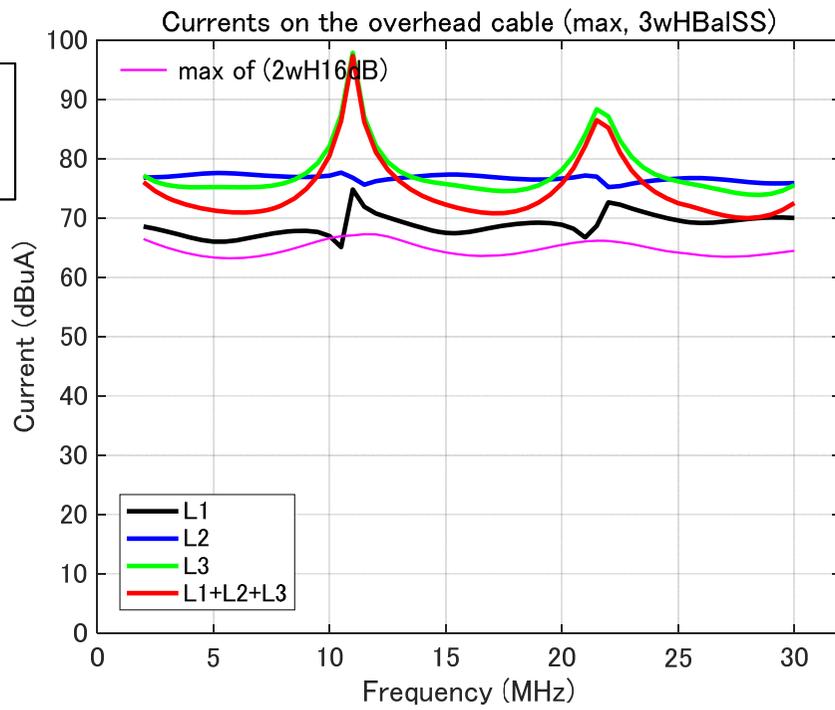
# 磁界



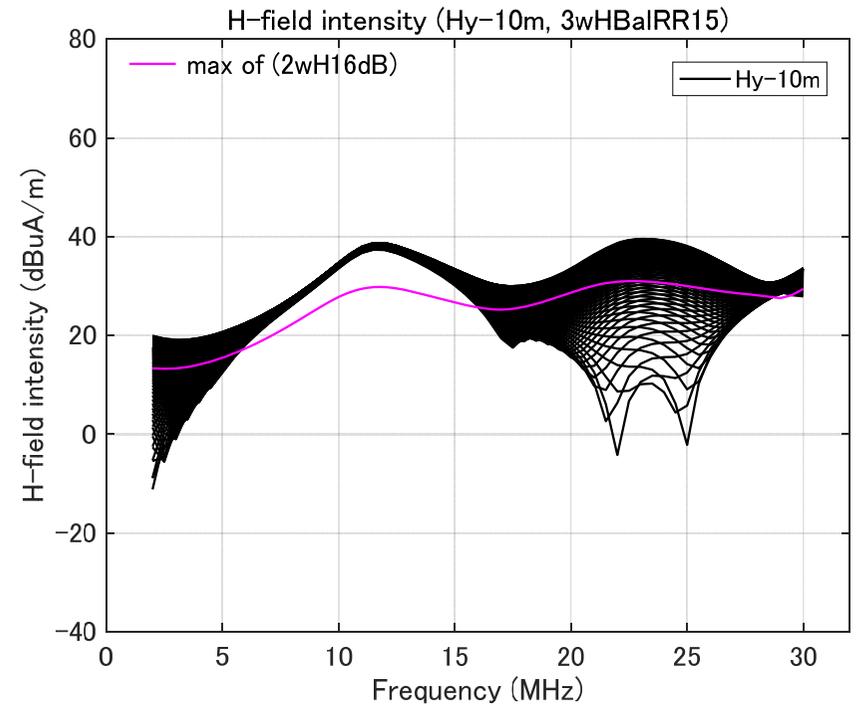
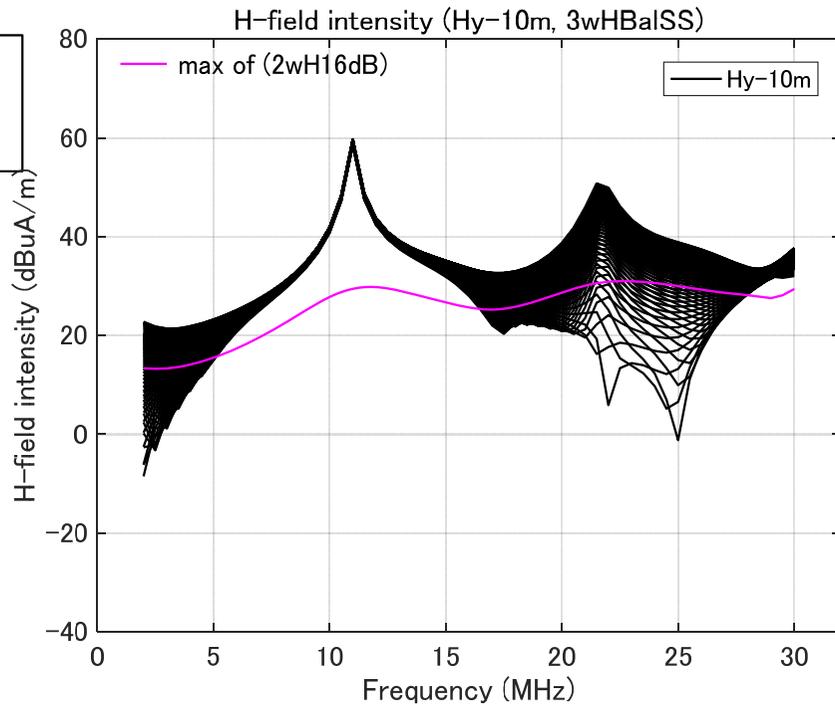
電流, 磁界: 基準より35dBdown  
第3線の影響無し

電流, 磁界: 基準より25dBup  
第3線の影響がある

# 電流



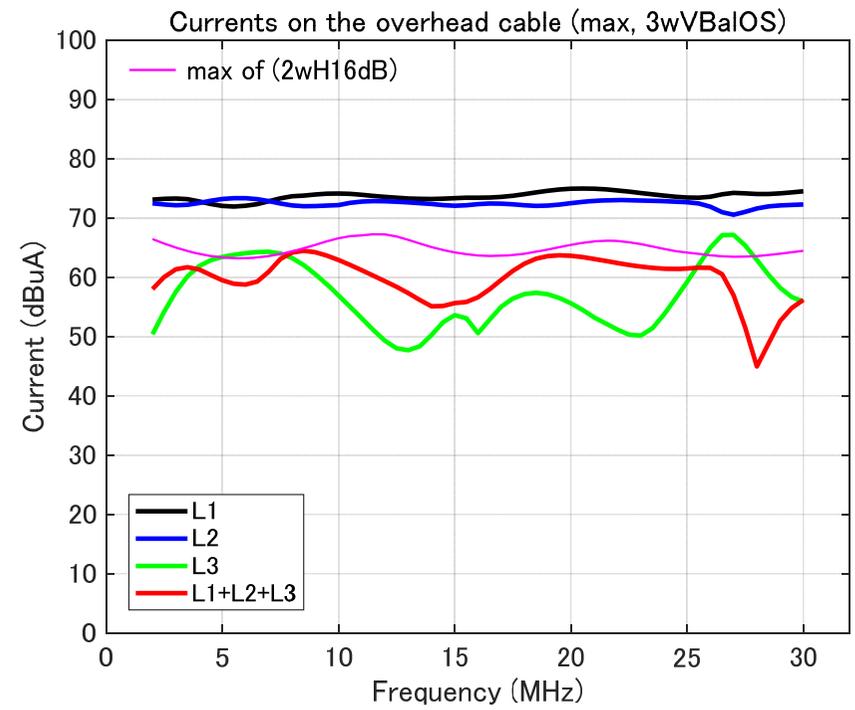
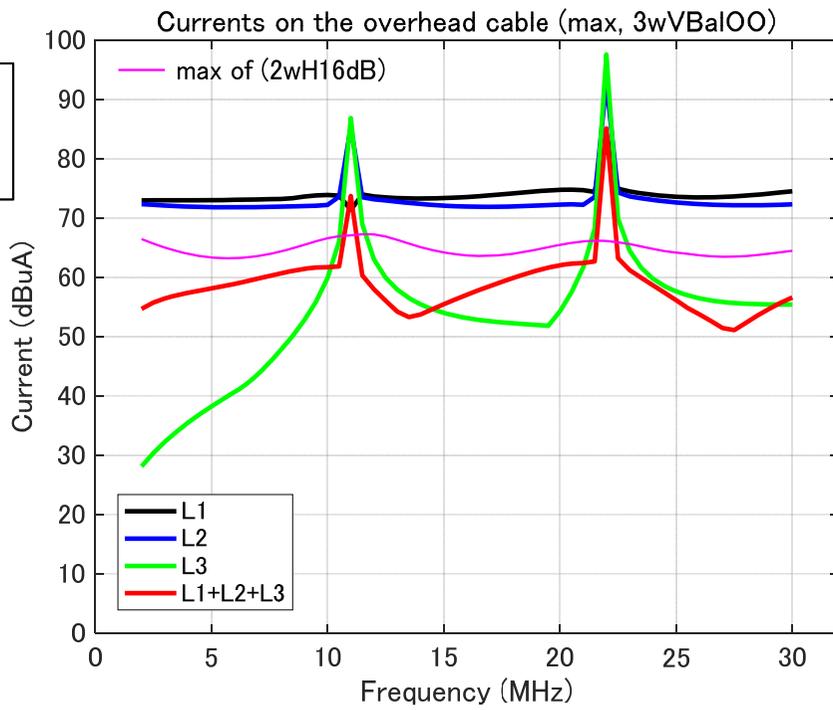
# 磁界



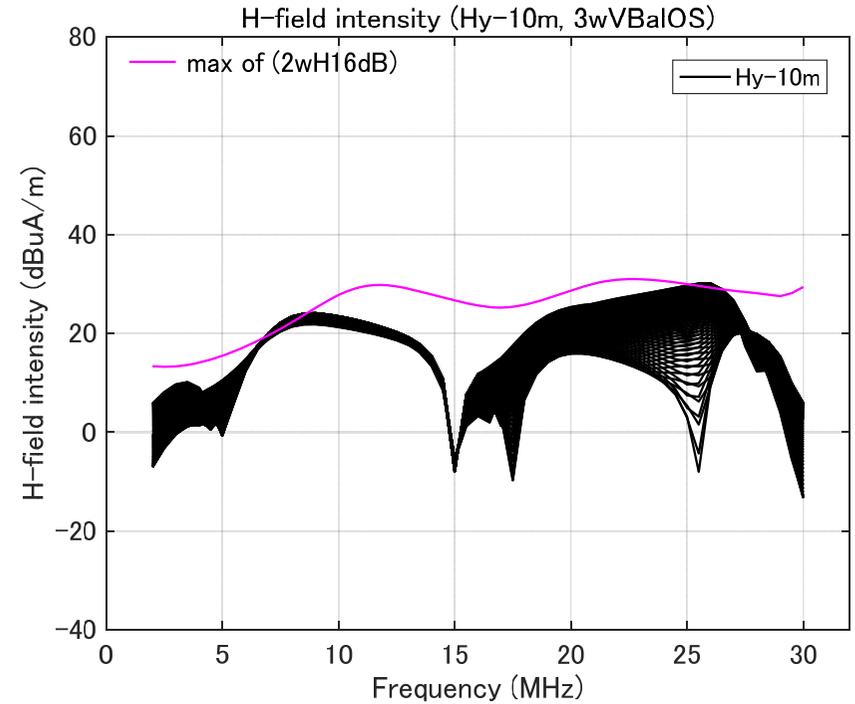
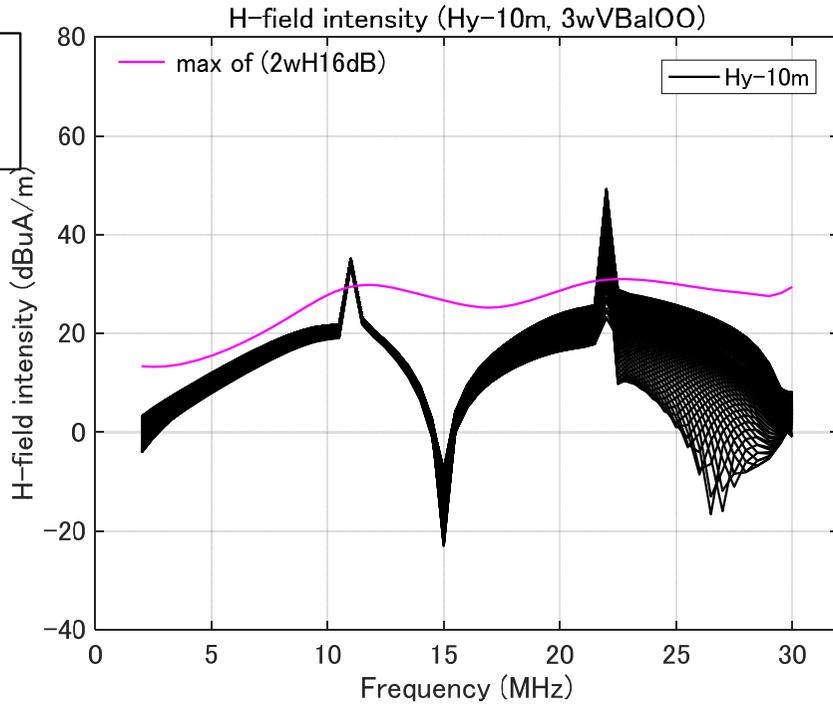
電流, 磁界: 基準より30dBup  
第3線の影響がある

電流, 磁界: 基準より10dBup  
第3線の影響がある

# 電流



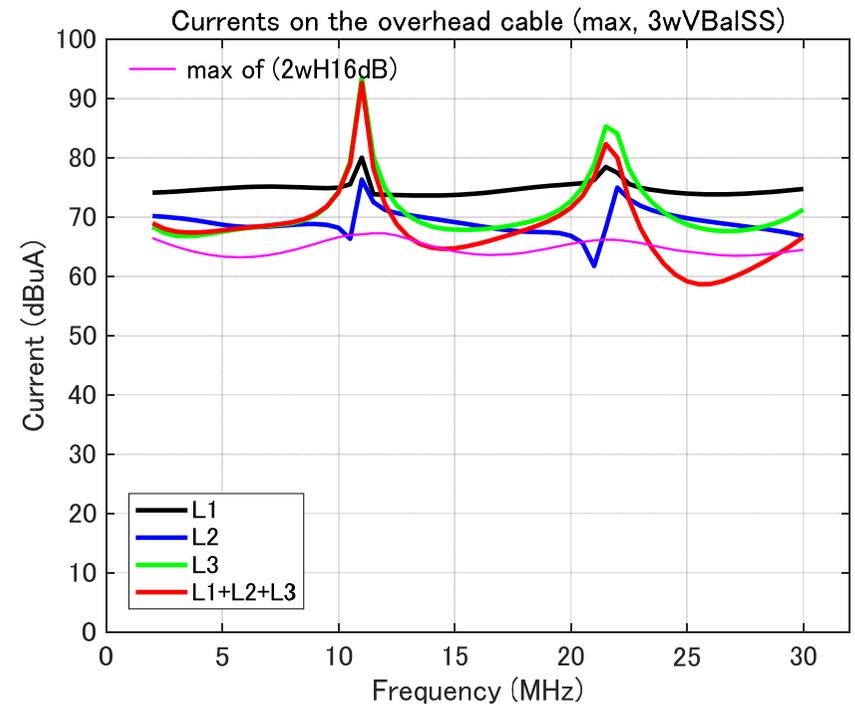
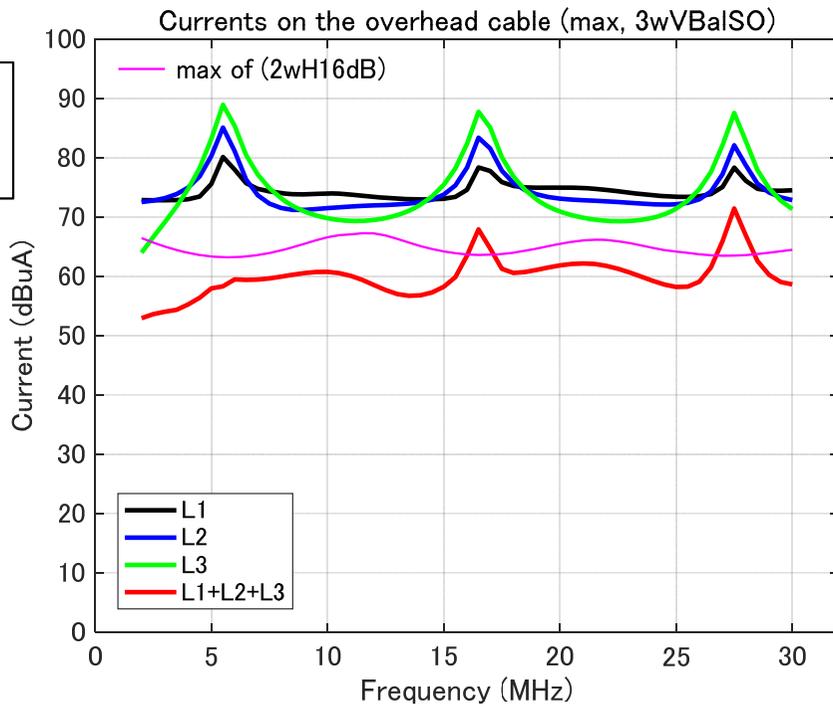
# 磁界



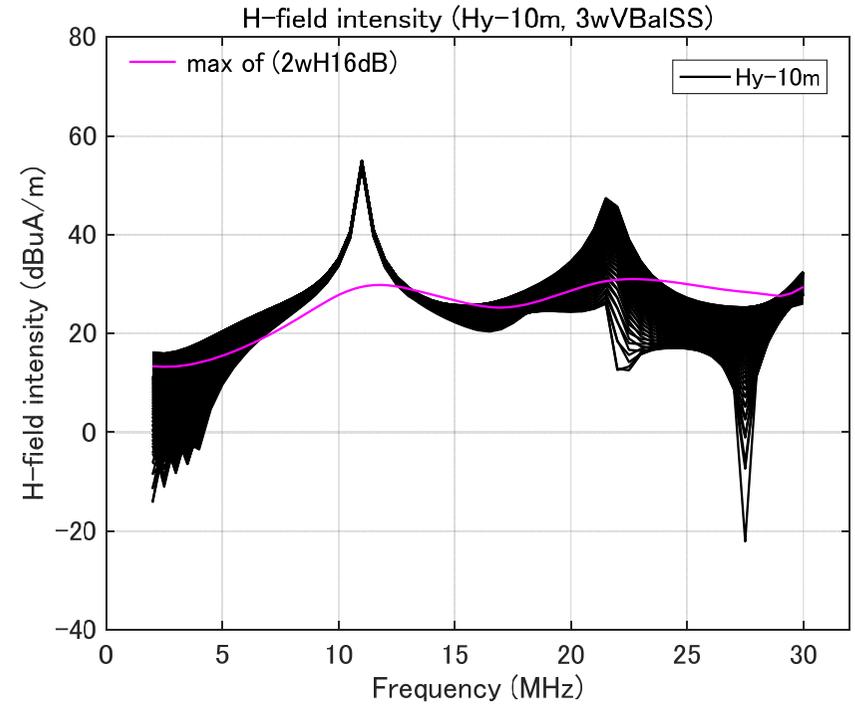
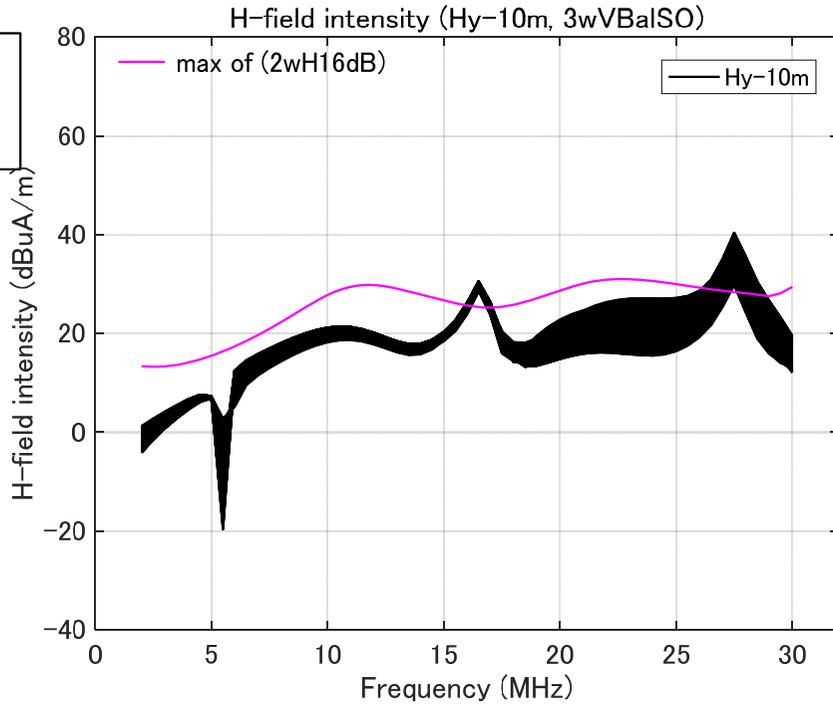
電流, 磁界: 基準より20dBup  
第3線の影響がある

電流, 磁界: 基準と同程度  
第3線の影響無し

# 電流



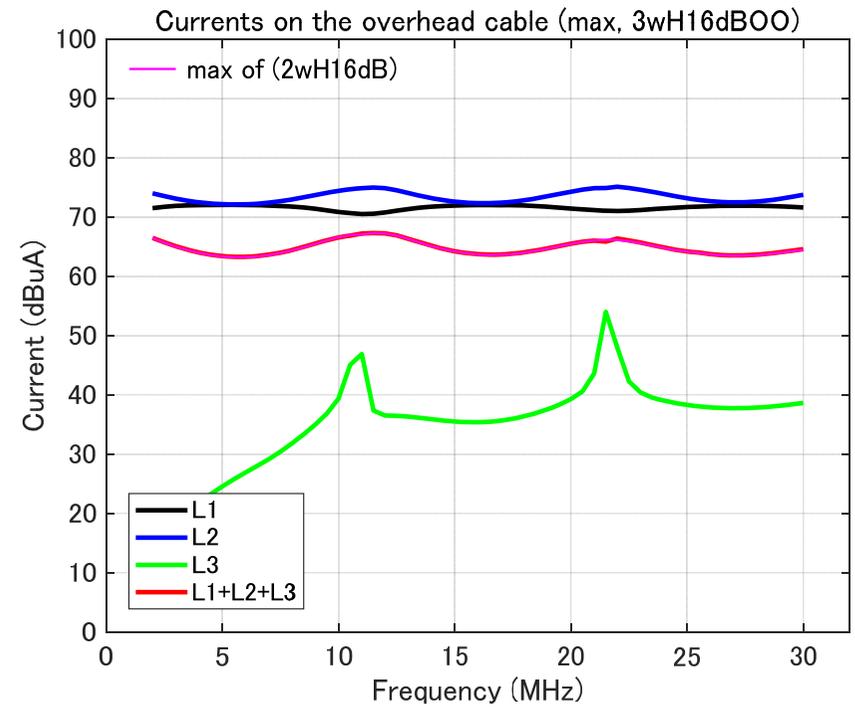
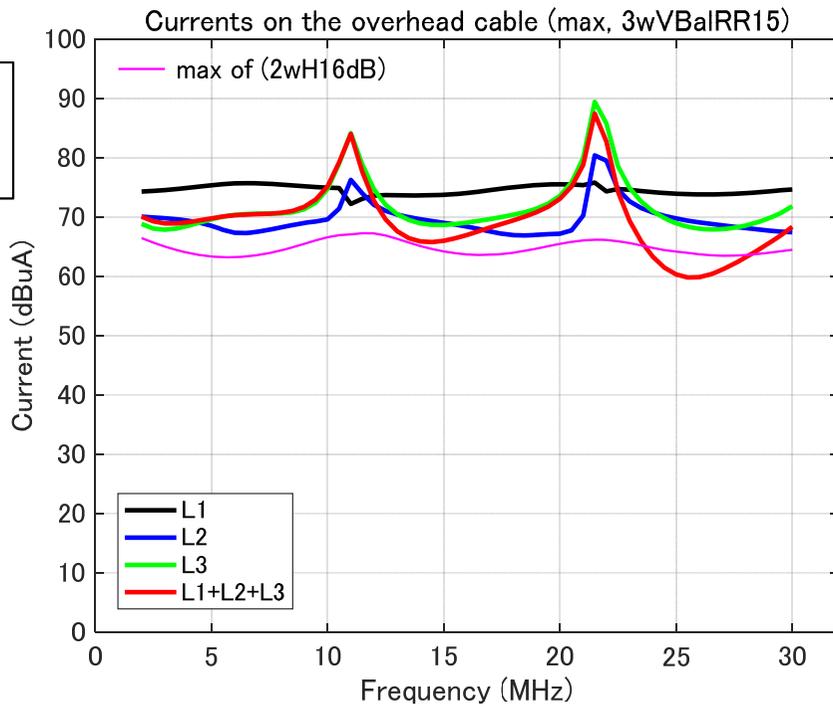
# 磁界



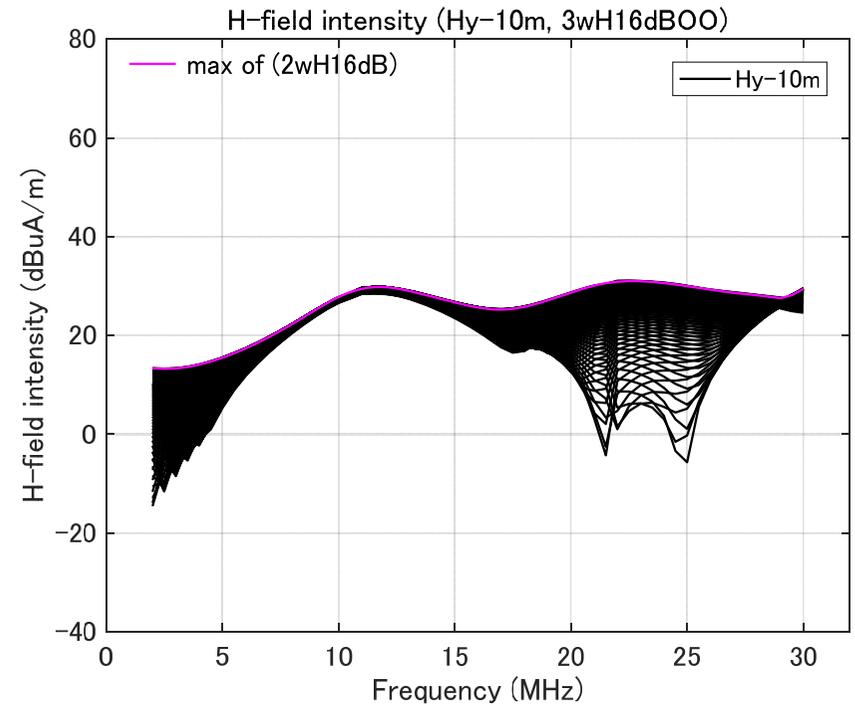
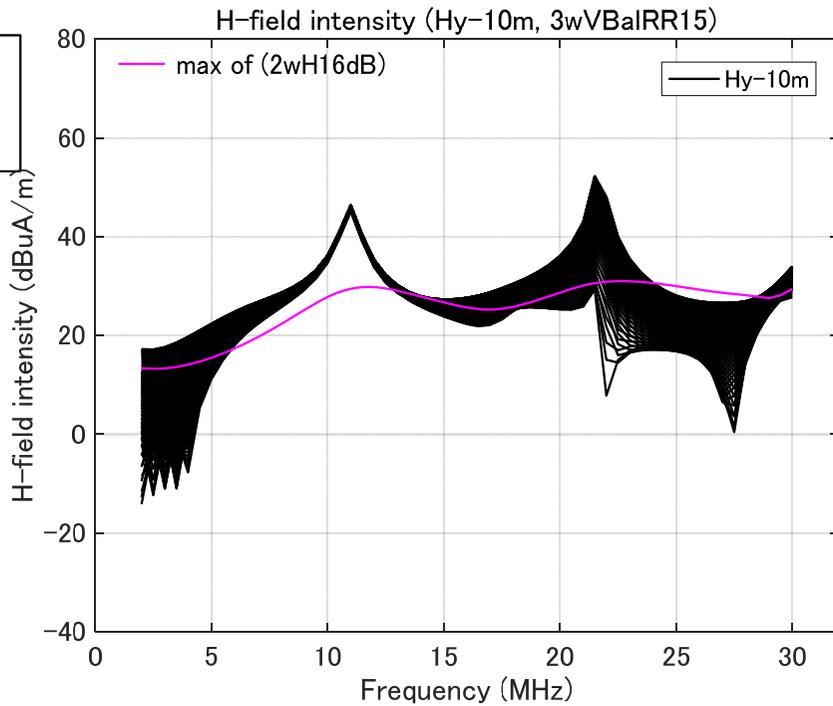
電流, 磁界: 基準より10dBup  
第3線の影響がある

電流, 磁界: 基準より25dBup  
第3線の影響がある

# 電流



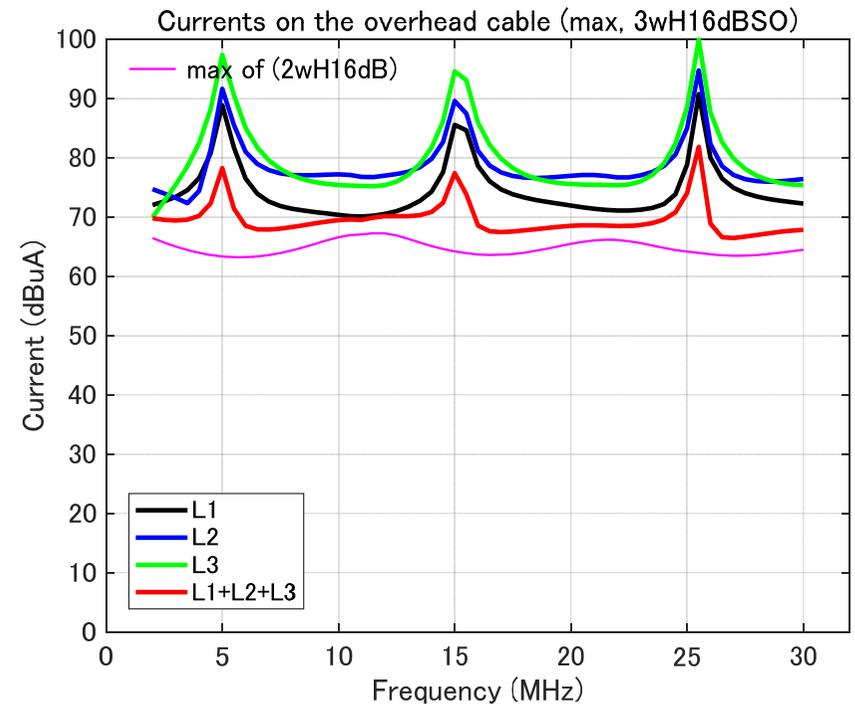
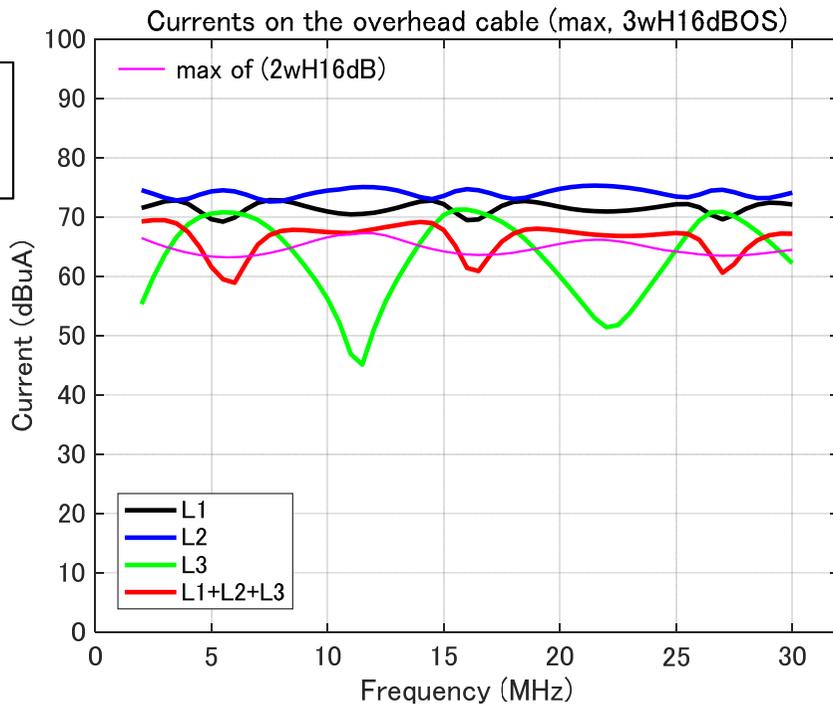
# 磁界



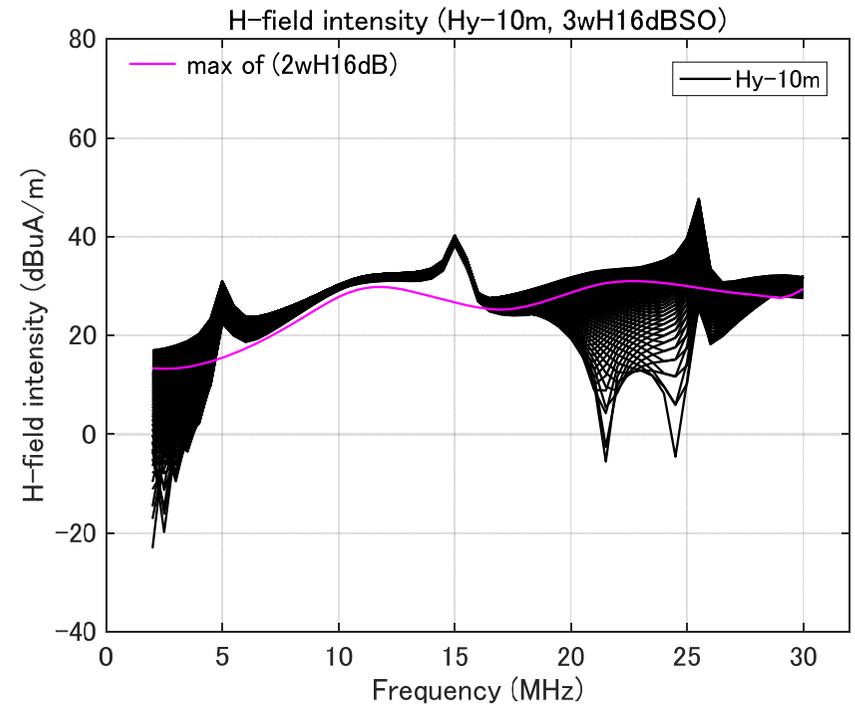
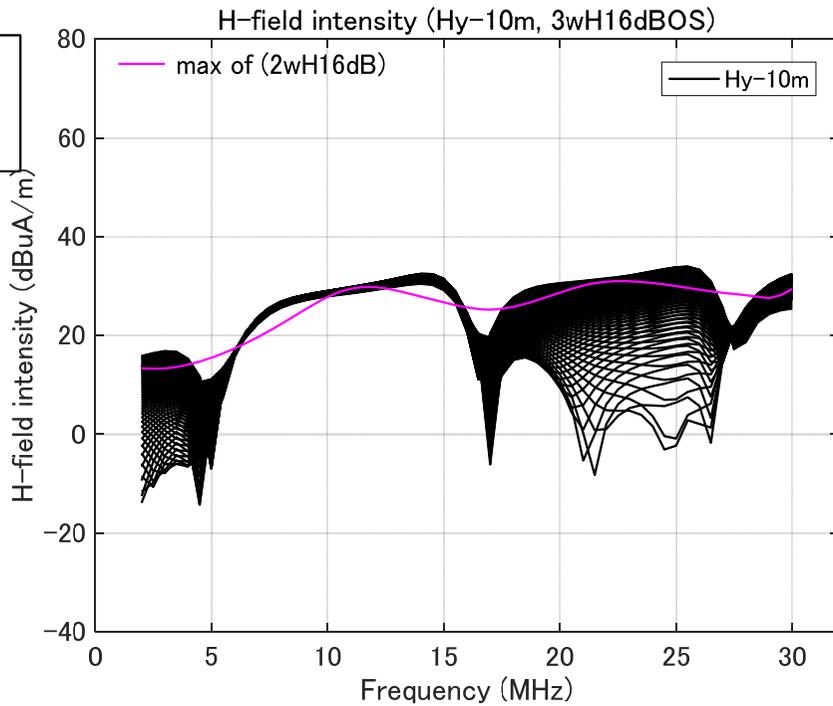
電流, 磁界: 基準より20dBup  
第3線の影響がある

電流, 磁界: 基準と同程度  
第3線の影響無し

# 電流



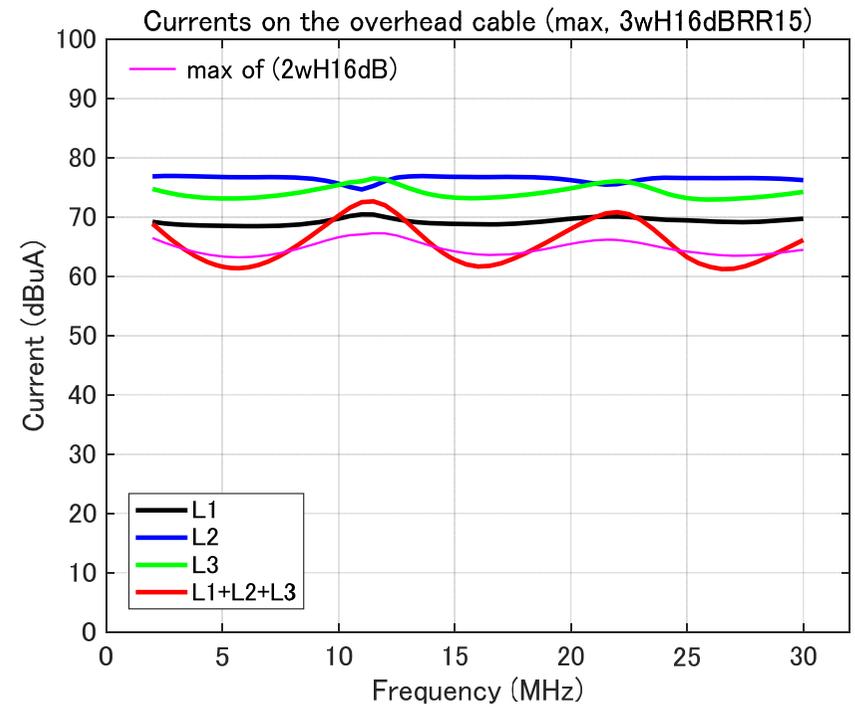
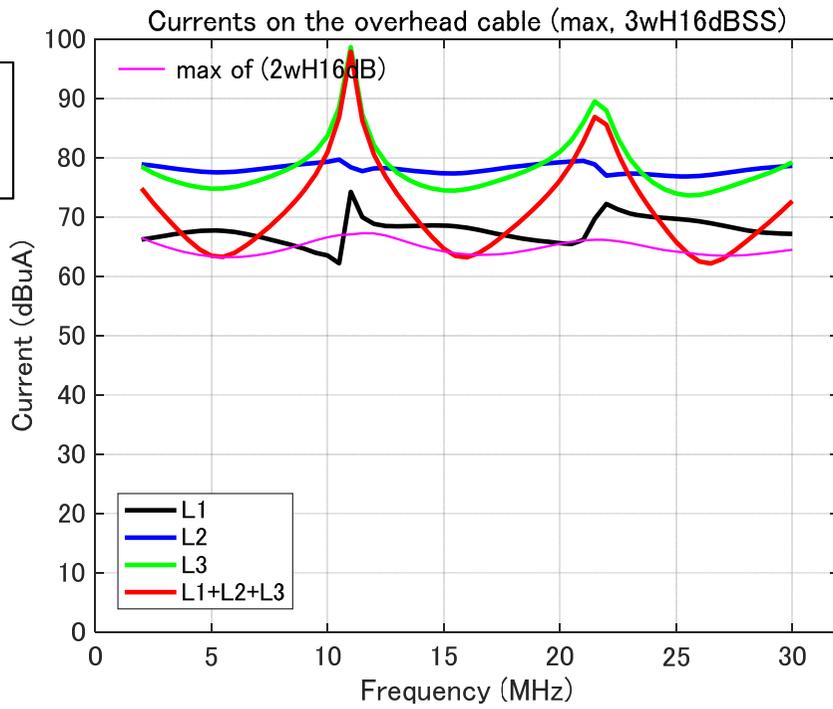
# 磁界



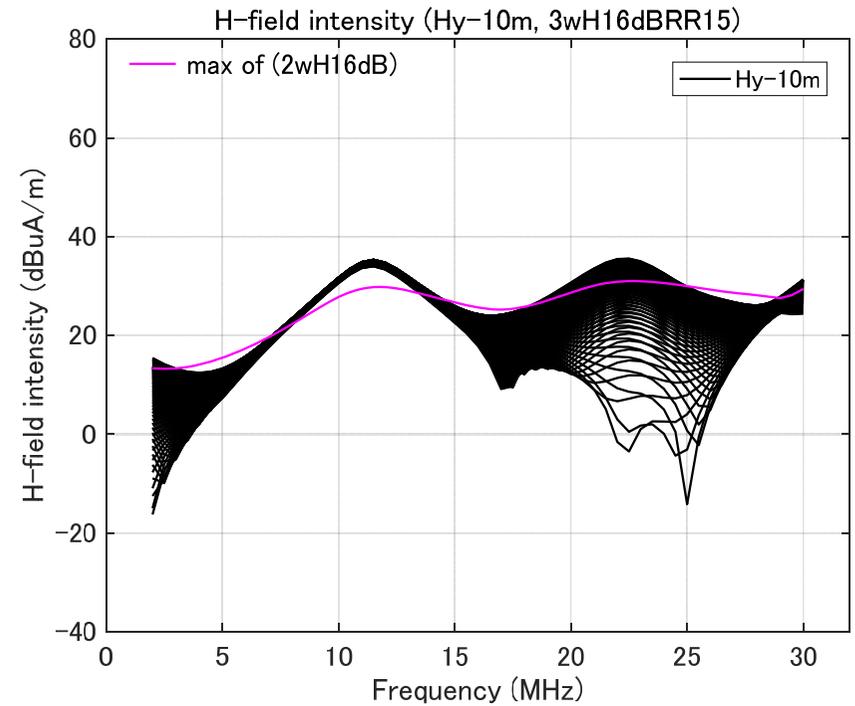
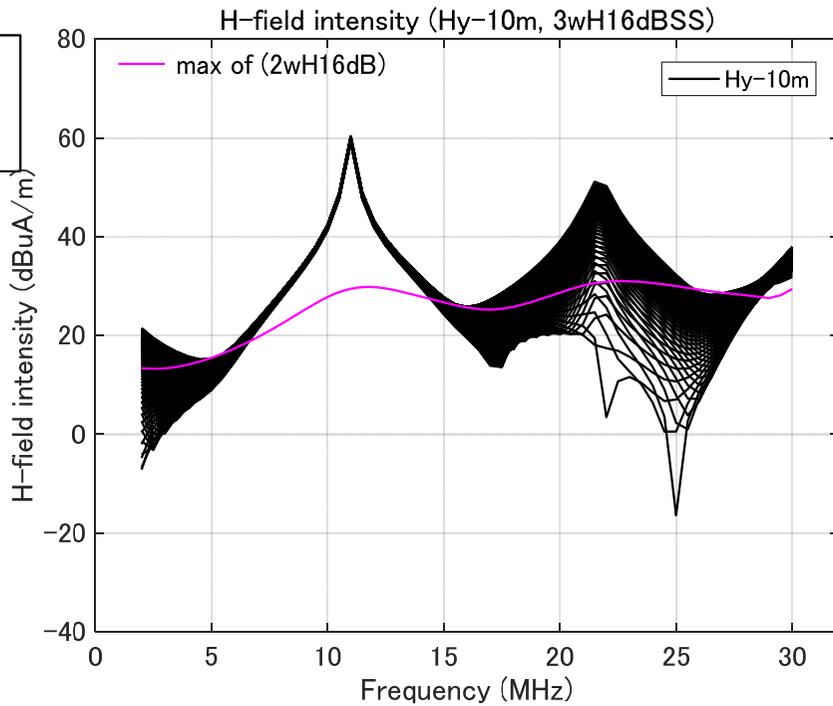
電流, 磁界: 基準より3dBup  
第3線の影響がある

電流, 磁界: 基準より20dBup  
第3線の影響がある

# 電流



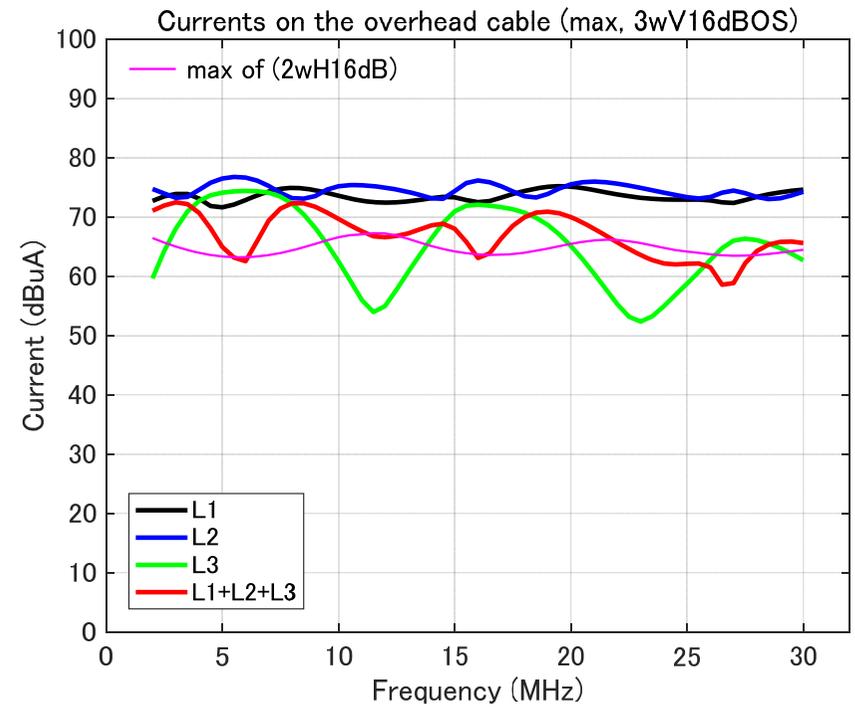
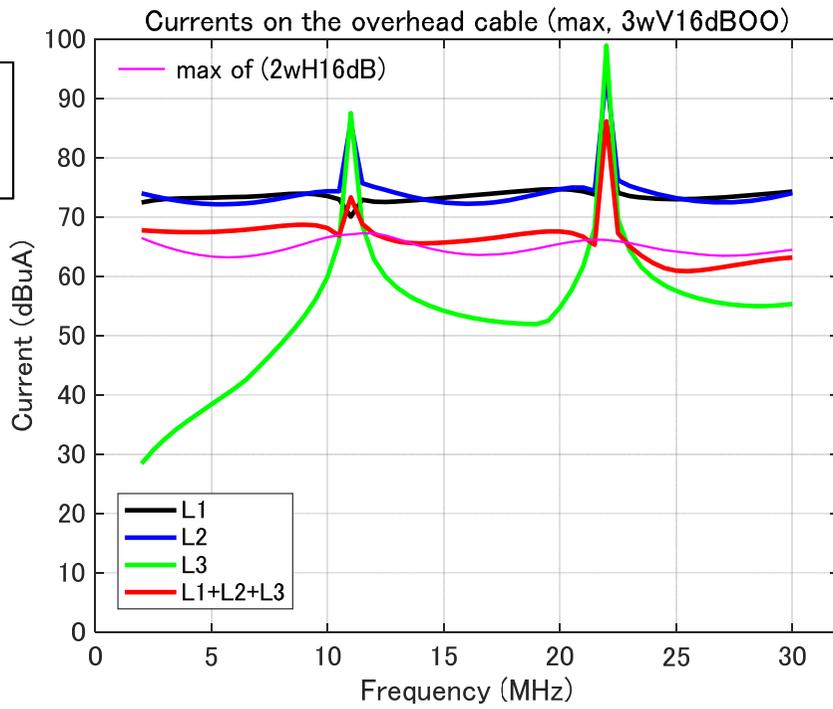
# 磁界



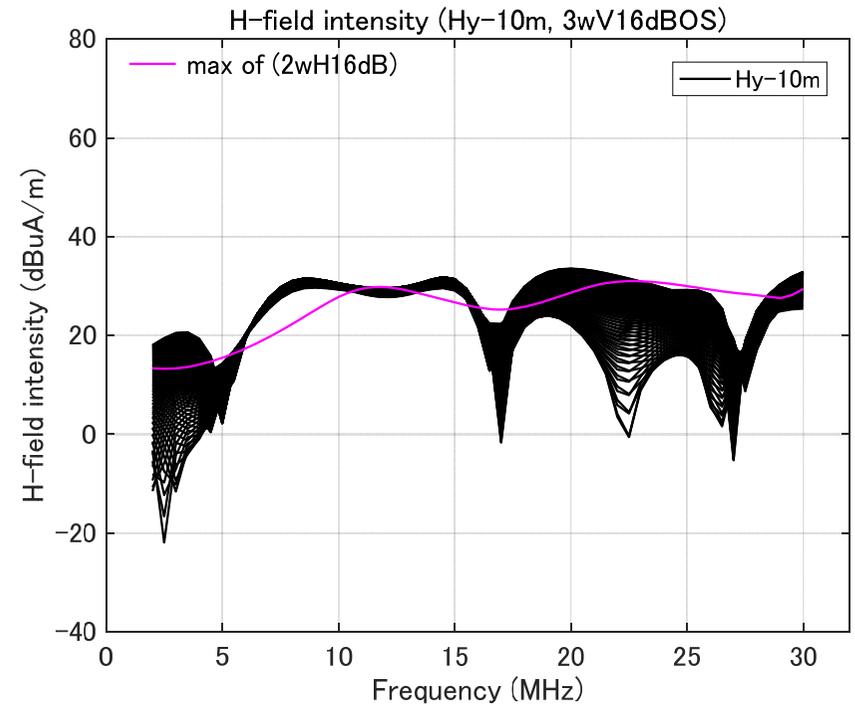
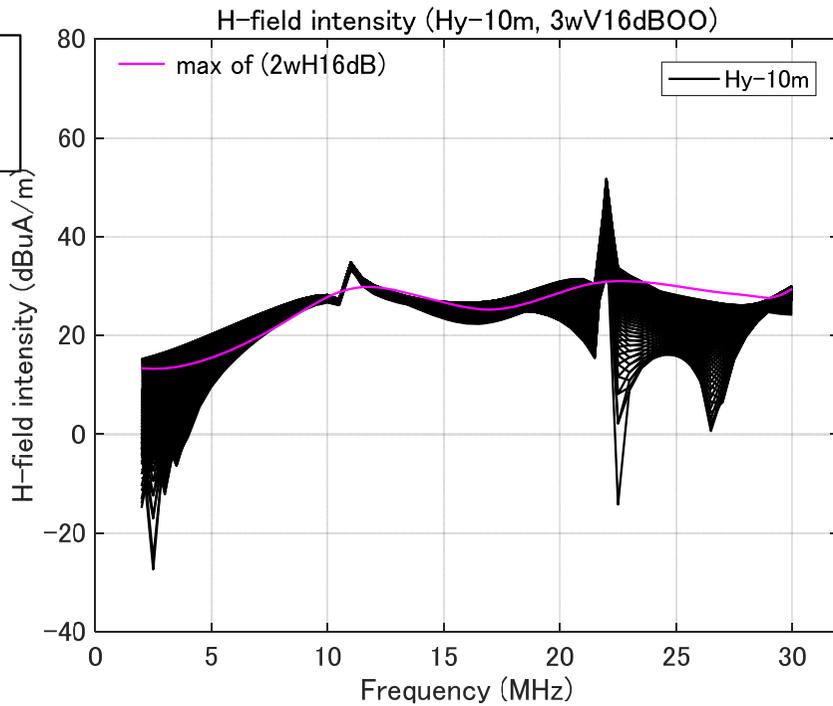
電流, 磁界: 基準より30dBup  
第3線の影響がある

電流, 磁界: 基準より3dBup  
第3線の影響がある

# 電流



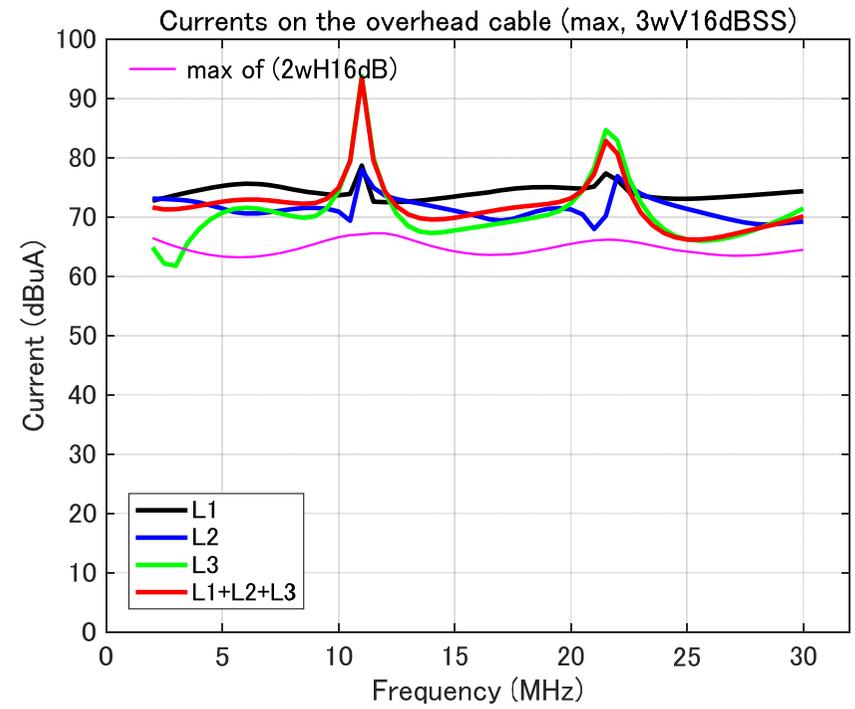
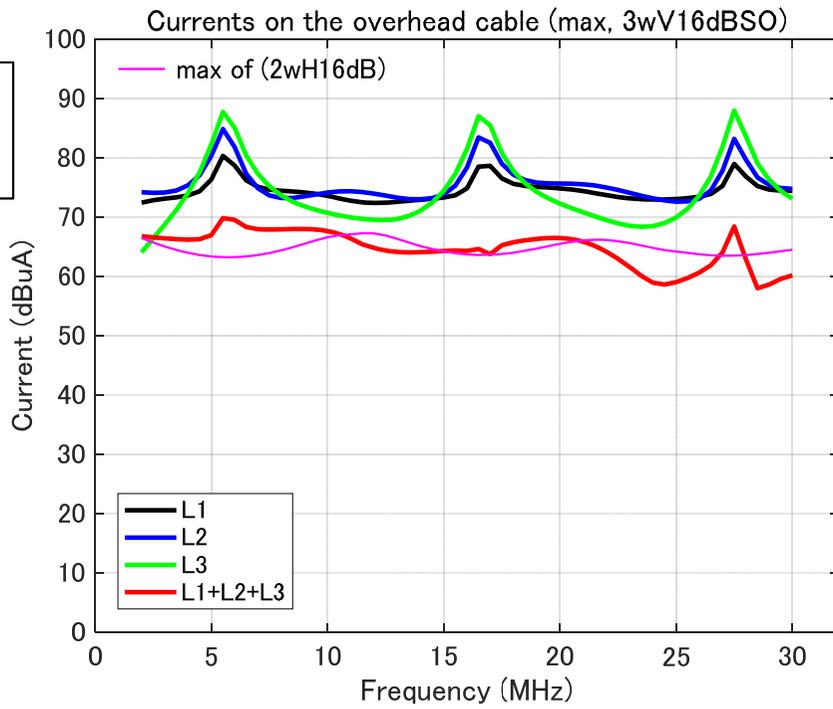
# 磁界



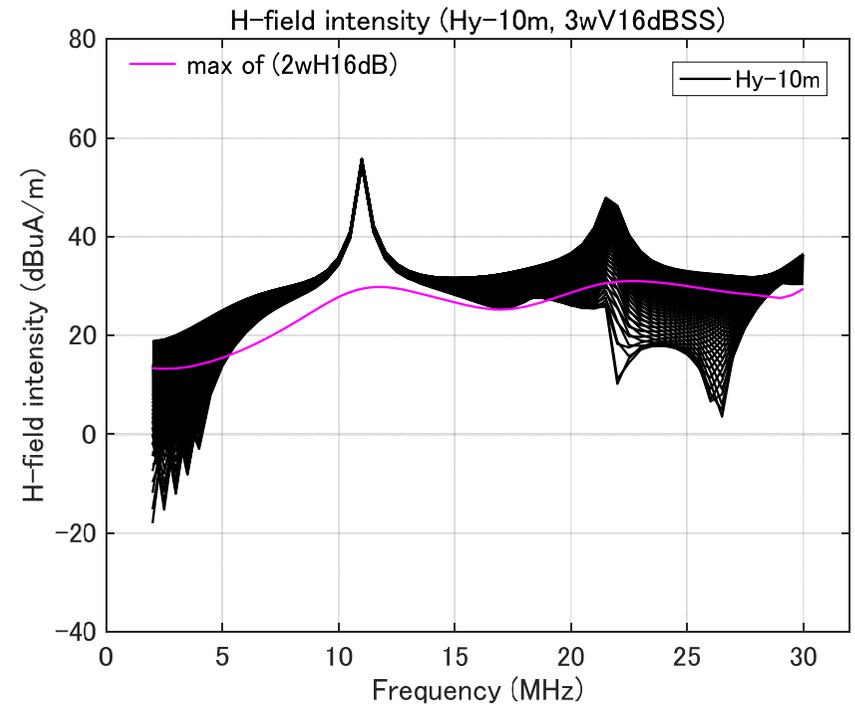
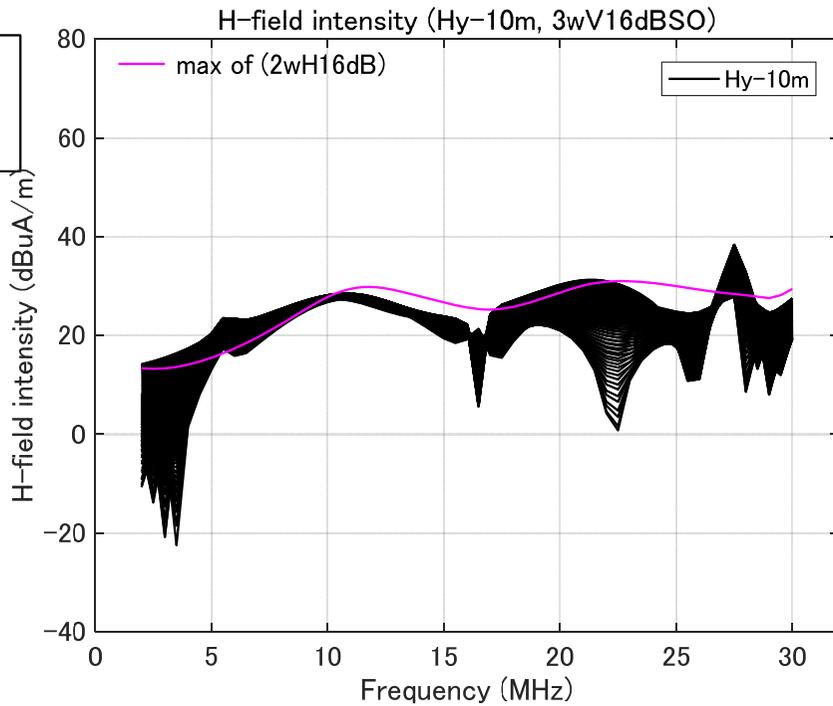
電流, 磁界: 基準より20dBup  
第3線の影響がある

電流, 磁界: 基準より3dBup  
第3線の影響がある

# 電流



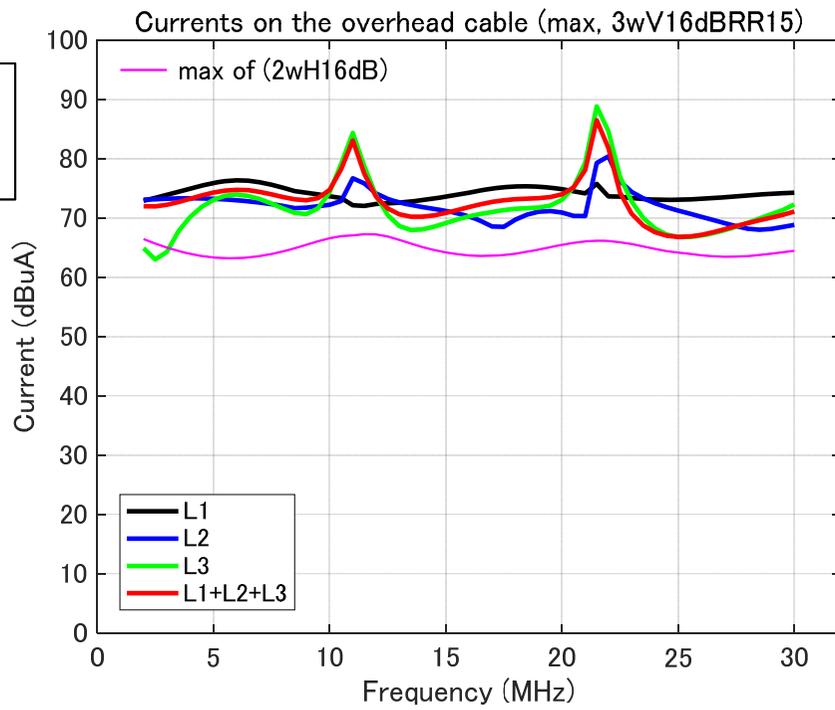
# 磁界



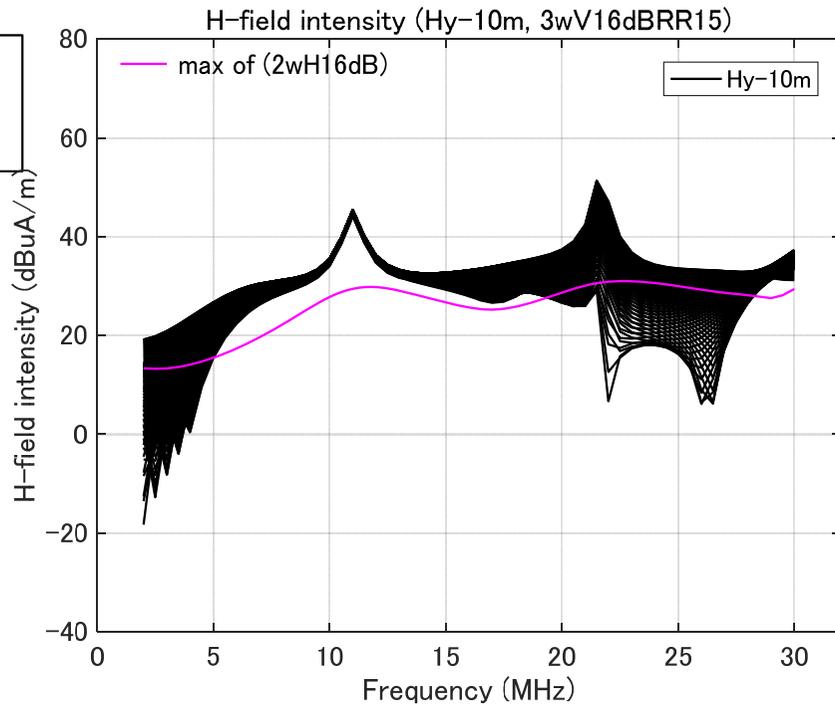
電流, 磁界: 基準より10dBup  
第3線の影響がある

電流, 磁界: 基準より25dBup  
第3線の影響がある

# 電流



# 磁界



電流, 磁界: 基準より20dBup  
第3線の影響がある

# シミュレーションのまとめ

1. 単相2線PLC機器を三相電力線の2線に接続し,  $Z_{com}=25\Omega$ ,  $Z_{dif}=100\Omega$ ,  $LCL=16dB$ を負荷とする通信系を設定し, 2線のみの場合のコモンモード電流及び磁界を基準として, 第3線を追加した場合の第3線の影響を評価した.
2. 本シミュレーションで, 第3線の影響が大きいことが判明した.
  - 第3線を追加し, 線端条件を/短絡/ $15\Omega$ とした場合, 上記基準に対してコモンモード電流および磁界が最大で30dB増加した.
  - 第3線の送信側端を短絡した場合が, 影響が大きかった.
3. 単相2線PLC機器を三相PLCに適用させる際には, 三相電力線の各線間および各線と大地間とのインピーダンスデータが重要である. このデータを実測して評価する必要がある.