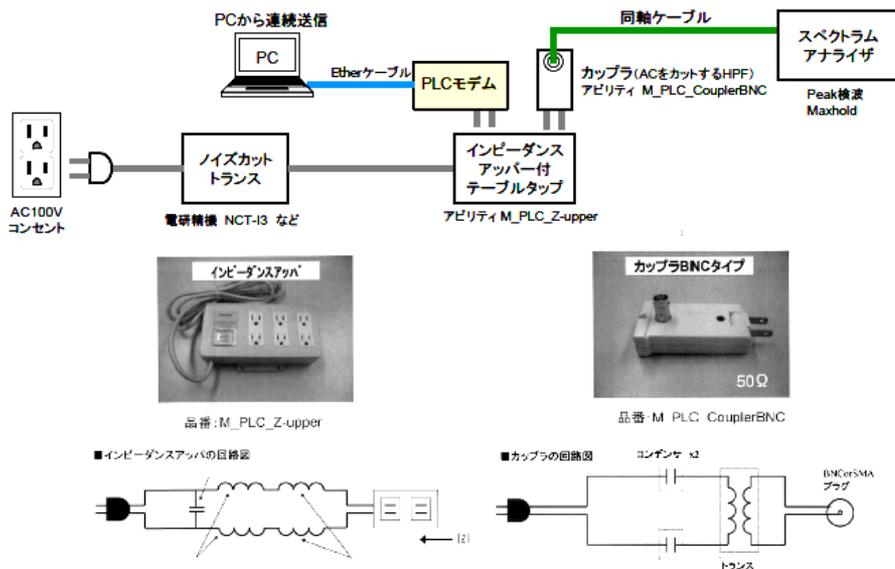


PLC装着2線に及ぼす第3線の影響

- (1) 整合終端の線路
- (2) LCL16dBの極めて不平衡な負荷を接続した線路

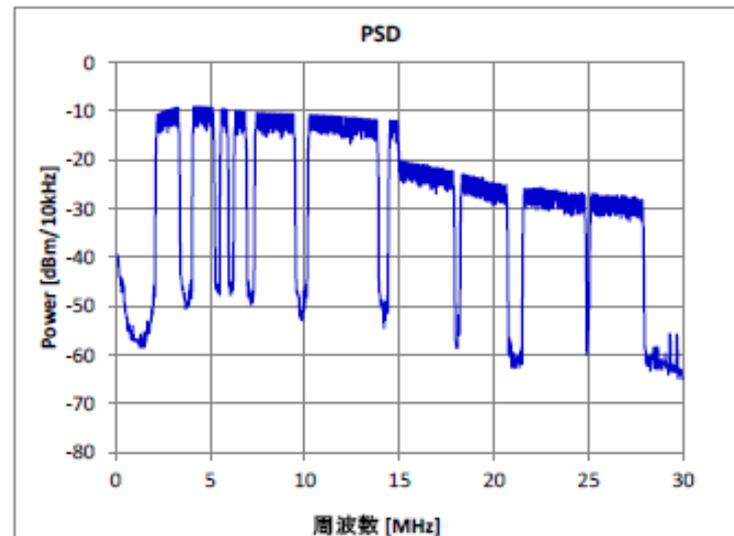
東北大学名誉教授
杉浦 行
(京都大学研究員)

PLCモデムの特性(例)



屋内パワー

資料15-2



電圧測定用カップラに内蔵されているトランスは、巻数比1:1の理想トランスとする。起電力E (V)のPLCモデムの出力をカップラを介して測定すると、測定電圧V₂ (V)は次式で与えられる。

$$V_2 = E \frac{50}{Z_{out} + 50}$$

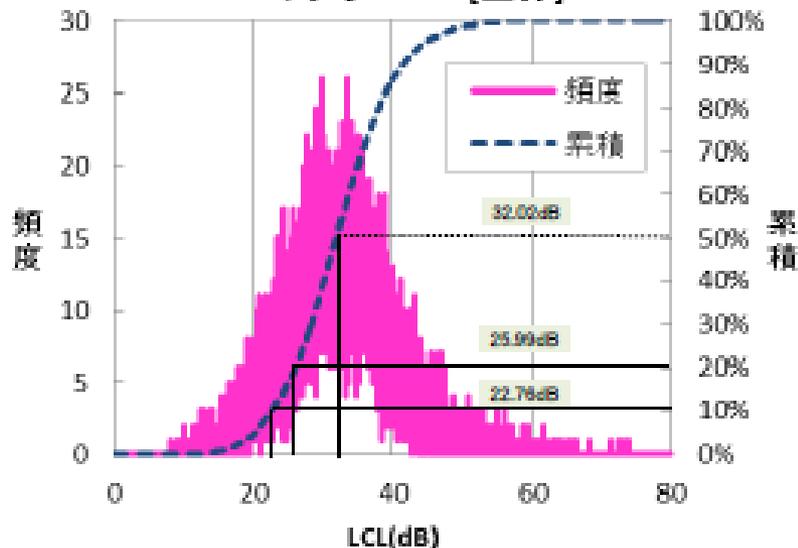
ここで、Z_{out}はモデムの出力インピーダンスで、モデム製造時の設計値は24Ω程度である。

上図より、屋内PLCモデムの10 MHz近傍の出力は、10 kHz当たり97dBμV (-10 dBm/10 kHz)であるから、E=0.07 Vとなる。すなわち、屋内PLCモデムの起電力は、

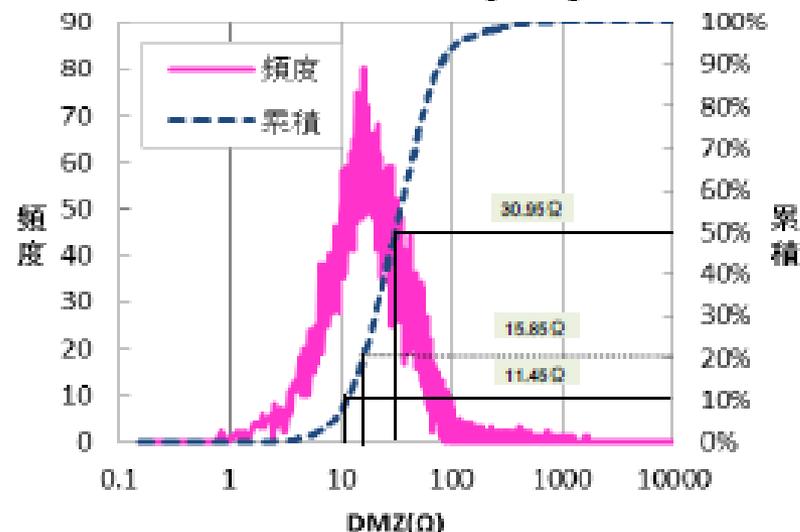
2~15 MHz: 起電力 0.1 V/10 kHz程度、 15~28 MHz: 起電力 0.03 V/10 kHz程度と推定される。モデム製造時の入・出力インピーダンスの設計値は75Ω、24Ω程度である

3相電力線の電気的特性(例)

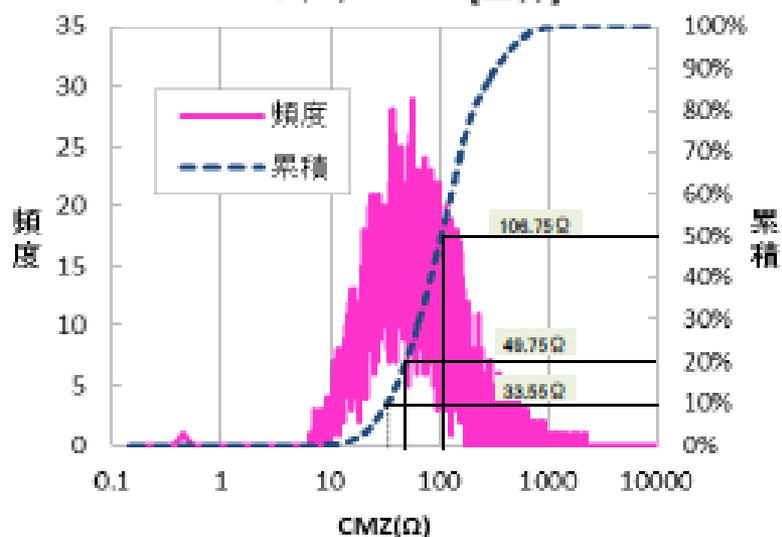
ヒストグラム LCL[全体]



ヒストグラム DMZ[全体]



ヒストグラム CMZ[全体]



資料15-4

電磁界解析における3相線の終端には、図の工場内3相線の電気的特性例およびPLCモデムの認証試験時の測定条件を参考にして、 $DMZ=100 \Omega$ 、 $CMZ=25 \Omega$ 、 $LCL=16 \text{ dB}$ になる抵抗負荷を接続した。

なお、図から判るように、実際の平均的なLCLは上記の値より20 dB程度良いので、漏えい磁界も電磁界解析値より20 dB程度低いことが見込まれる。

電磁界解析に適した最適セグメント寸法

三相線PLCに関する電磁界解析では、線路電流と漏れ電磁界を数値計算する。このため、これらに適したセグメント寸法を選定する必要がある。

使用ソフト: **FEKO** (基本解法はモーメント法)

(1) 平行2線の特性インピーダンスの計算

自由空間中の平行2線(長さ 19 m, 半径 3 mm, 間隔 20 mm)の終端を短絡、開放して、始端の入カインピーダンスを計算し、これより平行2線の特性インピーダンスを求める(Fig. 1)。

理論値(二重線: 224.5 Ω)

計算値(セグメント長: $s=2.0, 1.0, 0.5, 0.1$ m)

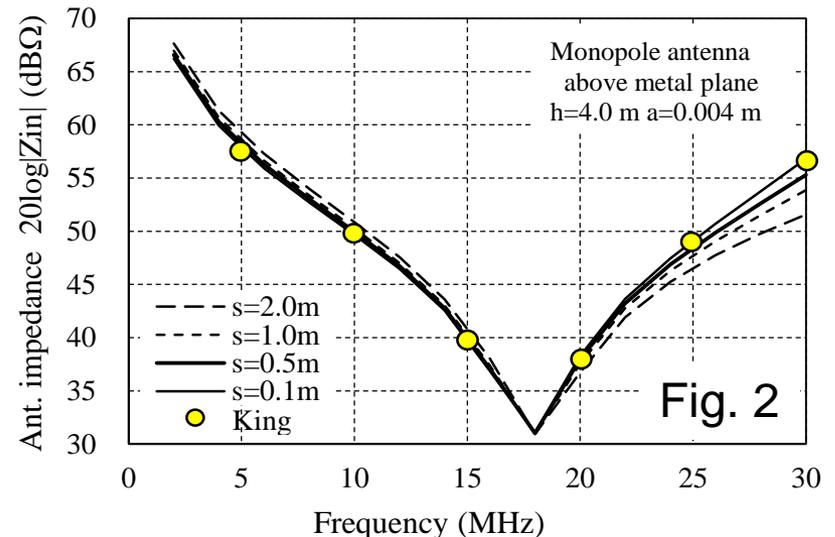
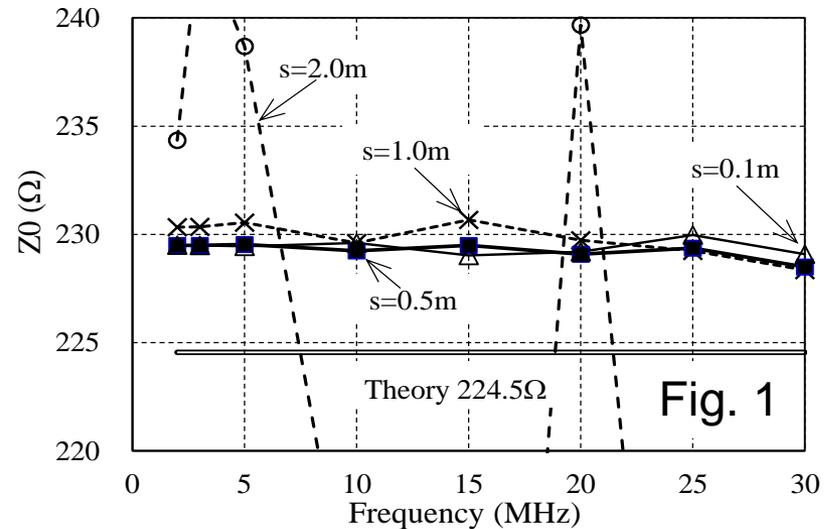
なお、計算値と理論値に2%程度の差違があるが、これは短絡、開放端の寄生リアクタンスが原因と思われる。

(2) モノポールアンテナの入カインピーダンスの計算

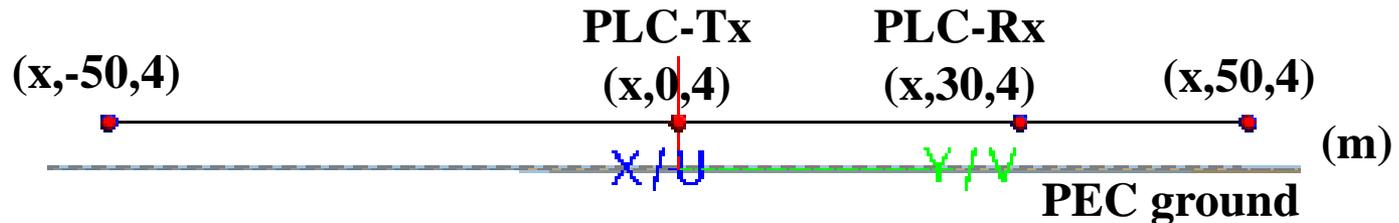
金属大地上の高さ 4 m, 半径 4 mmのモノポールアンテナの入カインピーダンスを計算する(Fig. 2)。

理論値(○: Kingの理論値)

計算値(セグメント長: $s=2.0, 1.0, 0.5, 0.1$ m)



解析モデル(2線系)



Wires: Perfect electrical conductor (PEC) without insulator

Radius 0.003 m, Separation 0.02 m ($x = -0.02$ & $x = 0.0$)

Length 100 m ($y = -50 \sim y = +50$ m), Height 4 m

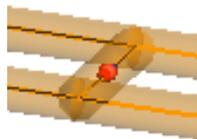
PLC Tx: 0.1 V emf, 24Ω : なお、実際のモデムでは15 MHz以上で10 dB低下

PLC Rx: 75Ω

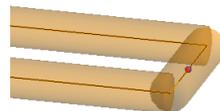
PLC on #1-#2 wires ($x = -0.02, 0.0$)

PLC-Tx ($x, 0, 4$)

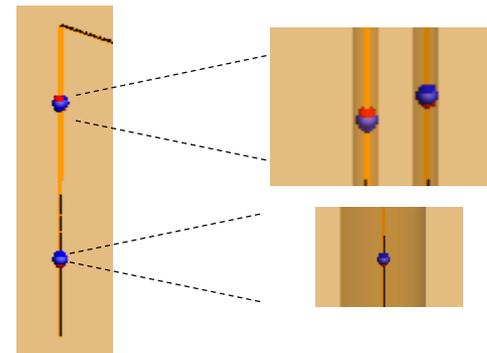
PLC-Rx ($x, 30, 4$)



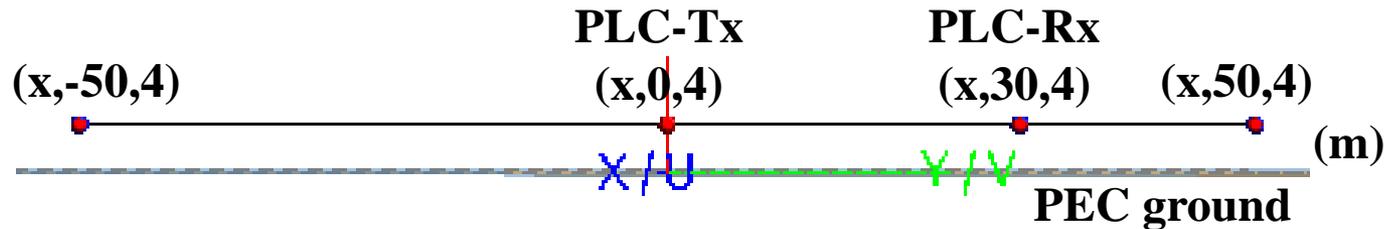
End termination (Matched)



End termination (LCL 16dB)



解析モデル(3線系)



Wires: Perfect electrical conductor (PEC) without insulator

Radius 0.003 m, Separation 0.02 m ($x = -0.02$, $x = 0.0$ & $x = +0.02$)

Length 100 m ($y = -50 \sim y = +50$ m), Height 4 m

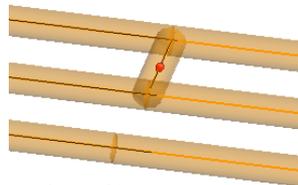
PLC Tx: 0.1 V emf, 24Ω : なお、実際のモデムでは15 MHz以上で10 dB低下

PLC Rx: 75Ω

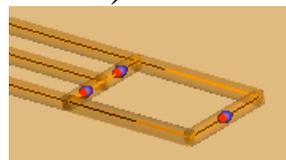
PLC on #1-#2 wires ($x = -0.02, 0.0$)

PLC-Tx ($x, 0, 4$)

PLC-Rx ($x, 30, 4$)

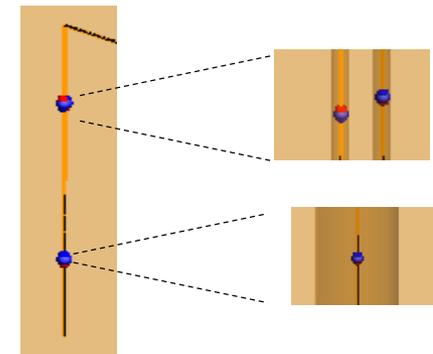


End termination (Matched)



End termination (LCL 16dB)

#1-#2 wires
($x = -0.02, 0.0$)



#3 wire ($x = +0.02$): Open or grounded

PLC装着2線:電流 (整合終端)

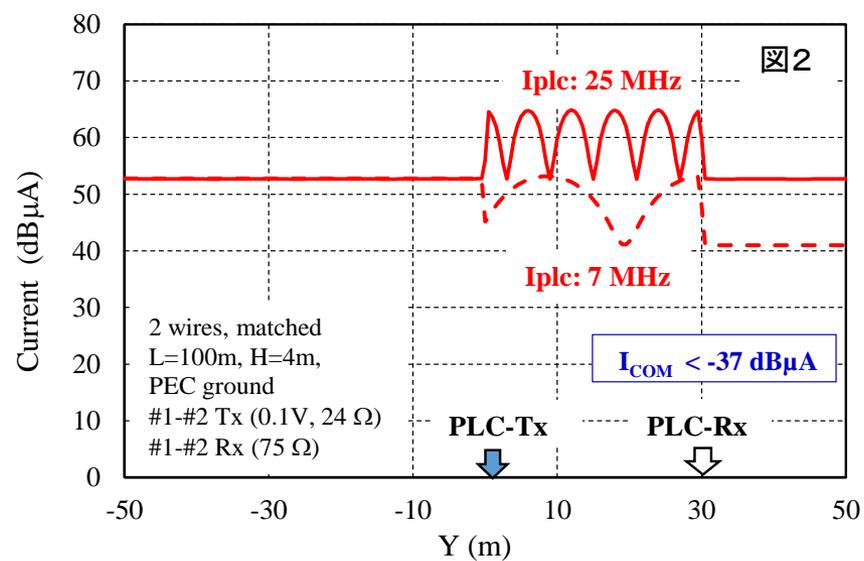
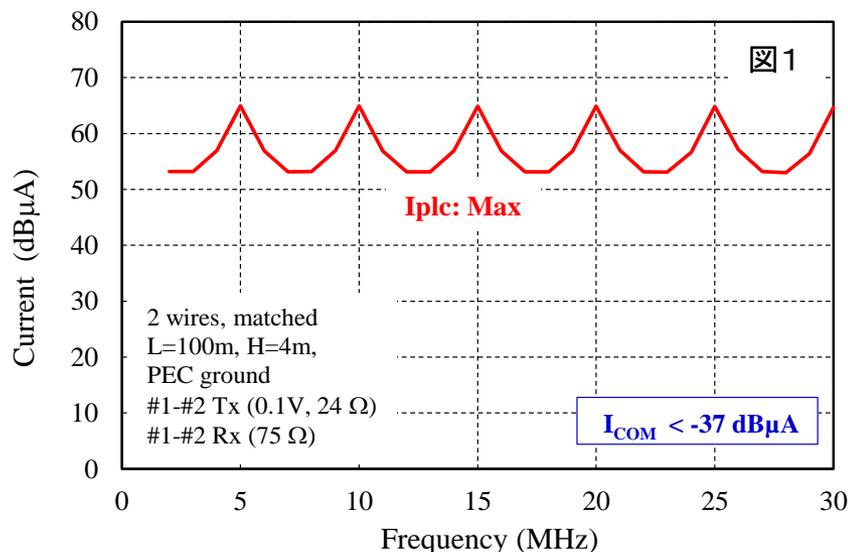


図1 各周波数毎に屋内モデムの信号電流 I_{plc} の線路長に沿った分布の最大値を求め、周波数に対して表示したもの。なお、平衡線路であるため、コモンモード電流は極めて小さく、計算誤差の範囲である。図より、 I_{plc} はモデム間の距離30mが半波長の整数倍になる周波数 $5n$ MHzで極大になることが判る。

図2 モデム間で共振及び反共振する周波数25 MHz及び7 MHzの信号電流 I_{plc} の分布を線路に沿って表示したもの。図より、 I_{plc} の分布は、共振周波数ではPLC区間で電流が最大になり定在波を生じるが、これ以外の区間では、線路端部が整合しているため定在波を生じないことが判る。なお、共振周波数以外で、PLC-Rxより以遠では I_{plc} が減少することが判る。また、 $y=0$ (PLC-Tx)より負側では、線路が整合終端されているため、 I_{plc} は周波数にかかわらず一定値になる。

PLC装着3線：電流 (整合終端)

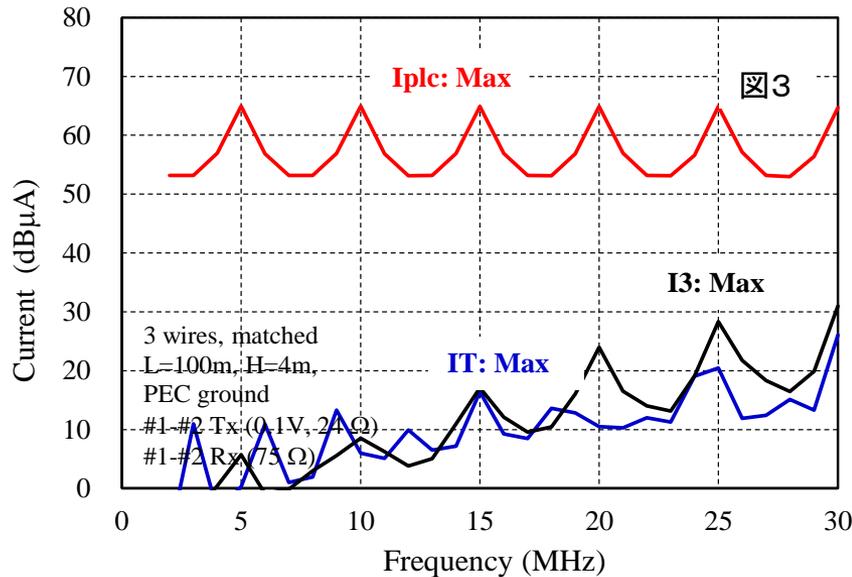


図3 屋内モデムが接続されていない線路#3の電流 I_3 および全電流 $IT=I_1+I_2+I_3$ について、線路に沿った電流分布の最大値を周波数毎に示した。 I_3 は I_{plc} と同様な共振現象を示すが、 IT は、線路の両端が開放終端のため、線路長100mが波長の整数倍になる周波数 $3n$ MHzで極大になることが判る。なお、2-14 MHz及び15-30 MHzにおけ IT の平均値は、それぞれ-4 dB μ A, +6 dB μ Aであった。

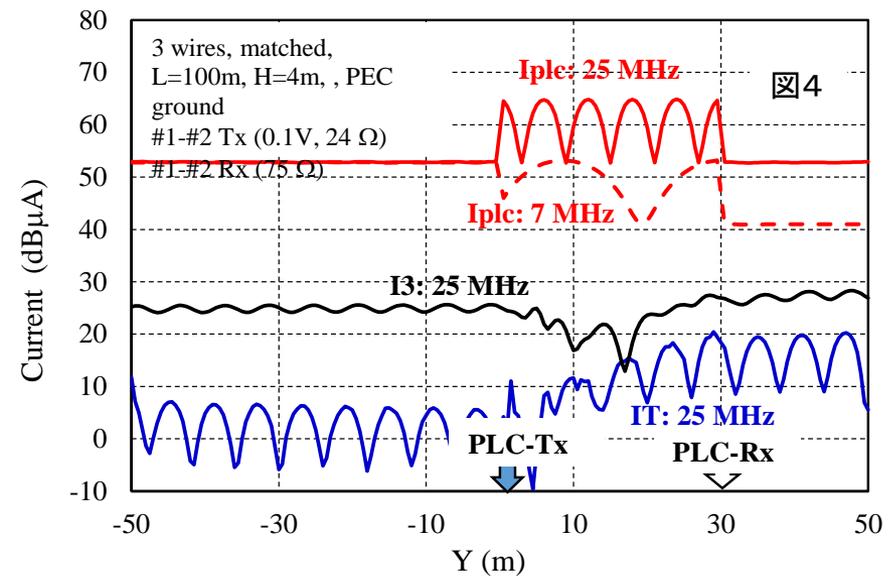


図4 共振及び反共振する周波数25 MHz及び7 MHzの信号電流 I_{plc} を線路に沿って表示した。また、モデムが接続されていない線路#3の電流 I_3 及び全電流 IT の分布も示した。線路#3は他の線路#1, #2と整合終端しているが、#1, #2にPLCが接続されているため少し整合状態が崩れて I_3 に定在波を生じている。 IT については、(仮想)線路が整合終端していないため定在波を生じる。

PLC装着3線：漏えい磁界 (整合終端)

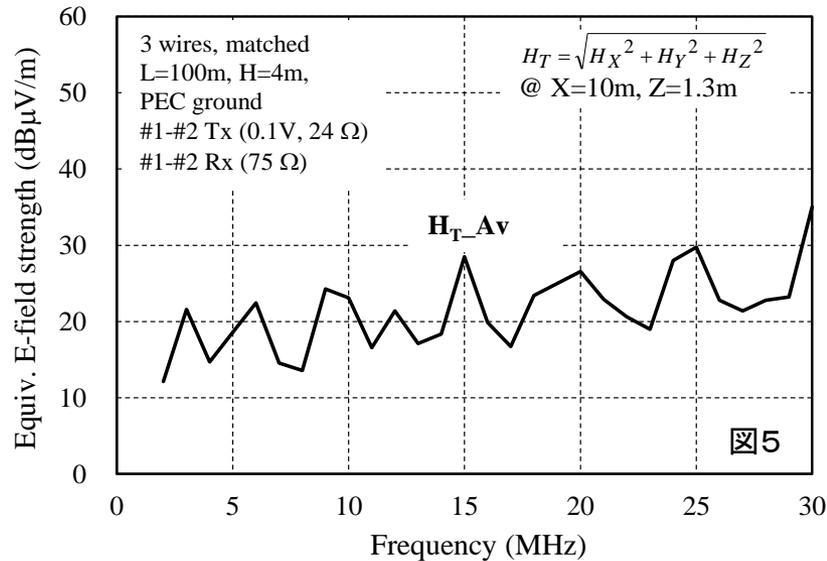


図5 電力線から離隔距離10mにおける磁界強度の2乗和の平方根 $H_T = \sqrt{H_X^2 + H_Y^2 + H_Z^2}$ を線路に沿って計算し、その平均値の等価電界強度値を周波数に対して示した。なお、2-14 MHz及び15-30 MHzにおける磁界強度の平均値は、それぞれ18 dBμV/m, 24 dBμV/mであった。

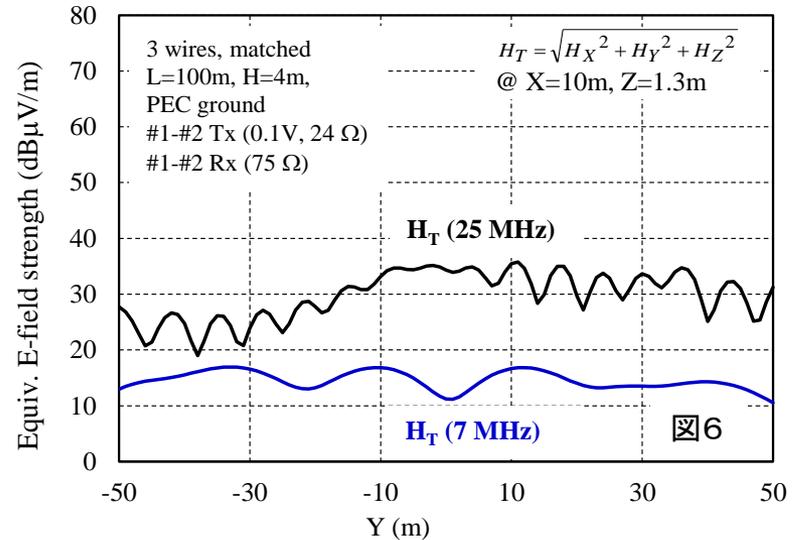


図6 磁界強度の平均値が極値をしめす周波数について、離隔距離10mにおける磁界強度の変動を電力線に沿って示したもの。但し、屋内モデム装着時の実際の磁界強度は、建物の遮蔽効果、PLC出力の15MHz以上における10dB低下を考えると、周囲雑音レベル相当以下と考えられる。

PLC装着2線:電流 (LCL16dB終端)

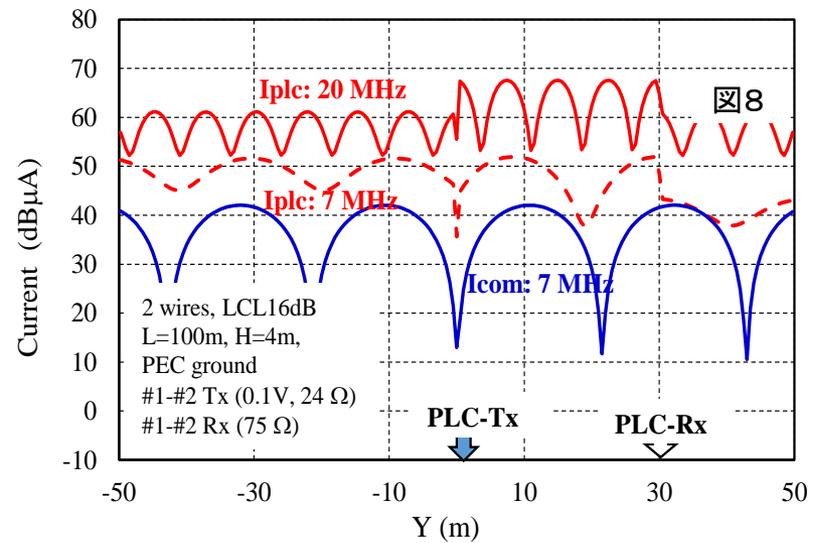
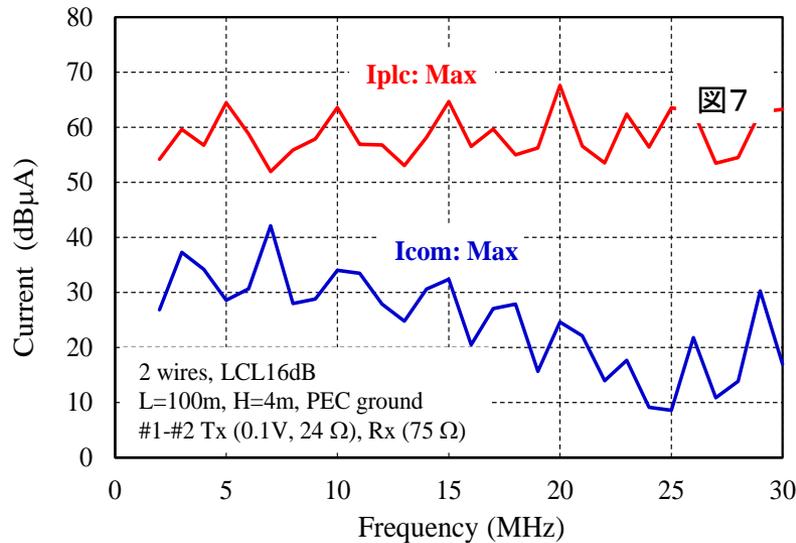


図7 電力線の両端がLCL 16dBで不整合のため、大きなコモンモード電流が発生する。IplcおよびIcomは線路区間L=20, 30, 50mなどで共振・反共振するため、複雑な周波数特性になる。ただし、Iplcはモデム間の距離30mが半波長の整数倍になる周波数5n MHzで極大になり、コモンモード電流は、線路の両端が開放終端になるため、線路長100mが波長の整数倍になる周波数3n MHzで極大になる。なお、2-14 MHz及び15-30 MHzにおけるIcomの平均値は、26 dBuA, 14 dBuA。

図8 IplcとIcomの分布を電力線に沿って表示したもの。線路両端が不整合終端であるため、モデム区間以外でもIplcに定在波を生じている。なお、反共振周波数ではIplcが小さく、特にPLC-Rx以遠ではIplcが低下している。一方、Icomの分布は全長100mによる定在波を生じることが判る。

PLC装着2線：漏えい磁界 (LCL16dB終端)

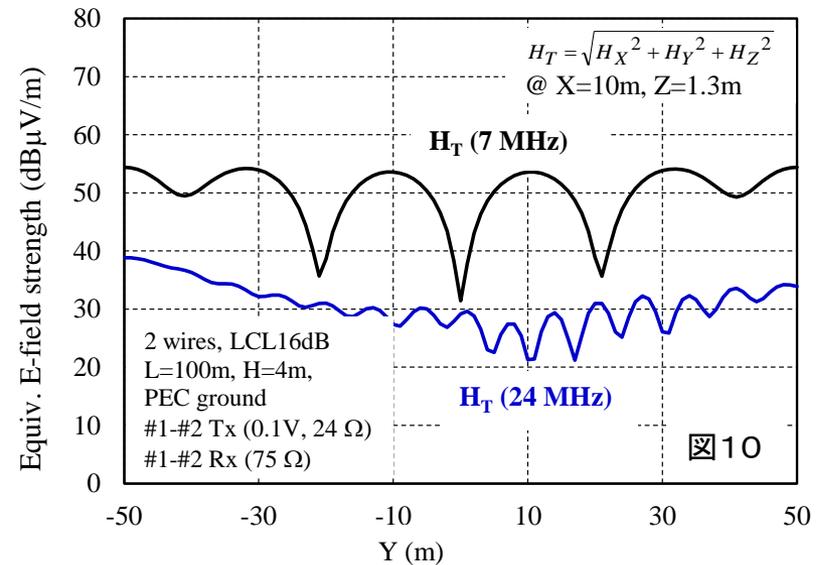
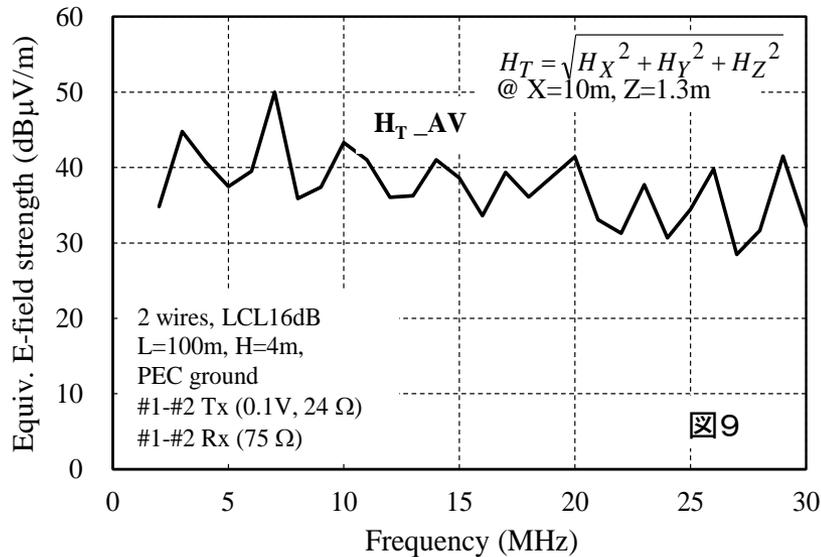


図9 電力線からの離隔距離10mの磁界強度 H_T の平均値を各周波数について図示したもの。

図10 図9の平均値が極値となる7 MHzと24 MHzについて、離隔距離10mの点における磁界強度(等価電界強度)を図示した。なお、2-14MHzおよび15-30MHzにおける平均的な磁界強度は、それぞれ40dB μ V/mおよび35dB μ V/mであった。なお、屋内モデム装着時の実際の磁界強度は、LCL16dBの発生確率(20dB減)、建物の遮蔽効果(10dB減)、PLC出力の15MHz以上における10dB減を考えると、周囲雑音レベル相当以下と考えられる。

PLC装着3線：電流

(#1-#2線：LCL16dB, #3:開放)

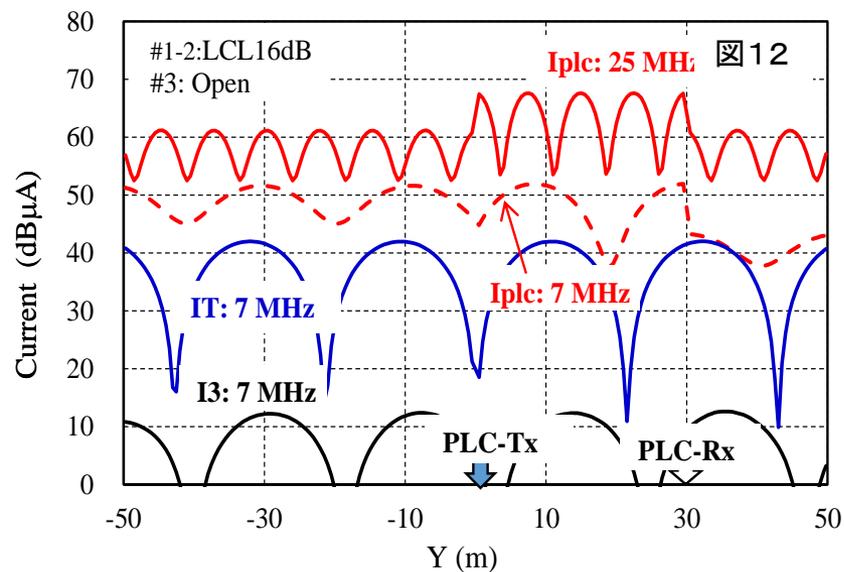
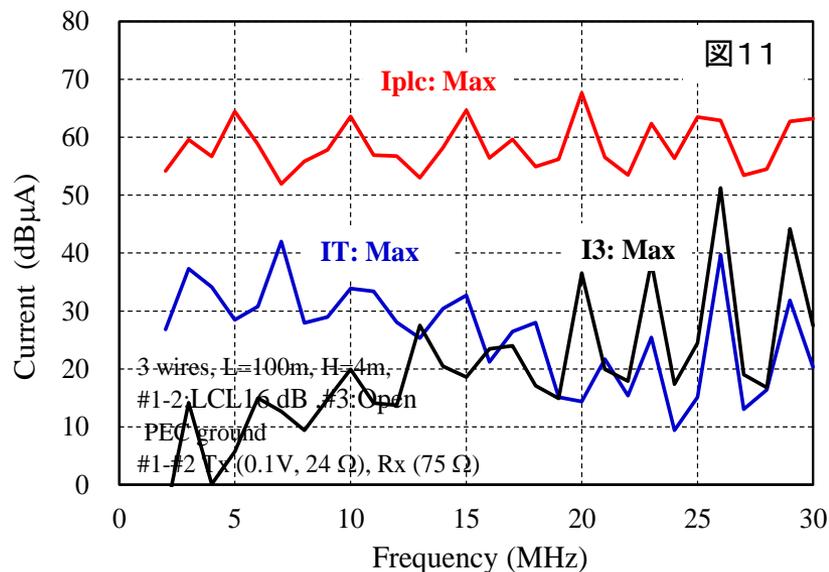


図11 第3線は両端が開放されているが、屋内モデム装着2線の両端がLCL 16dBで不整合であるため、大きなI3及びIT ($=I1+I2+I3$)が発生する。開放線路#3はモデム装着線路#1, #2との電磁結合が周波数と共に強くなるため、I3は周波数と共に増加することが判る。なお、2-14 MHz及び15-30 MHzにおけるITの平均値は26 dBuA, 16 dBuAであり、LCL 16dBの平行2線のコンモンモード電流平均値と大差が無いことが判る。

図12 Iplc, I3, ITの電力線に沿った分布を表示したもの。図8と同様な傾向が見られる。

PLC装着3線：漏えい磁界 (#1-#2線：LCL16dB, #3:開放)

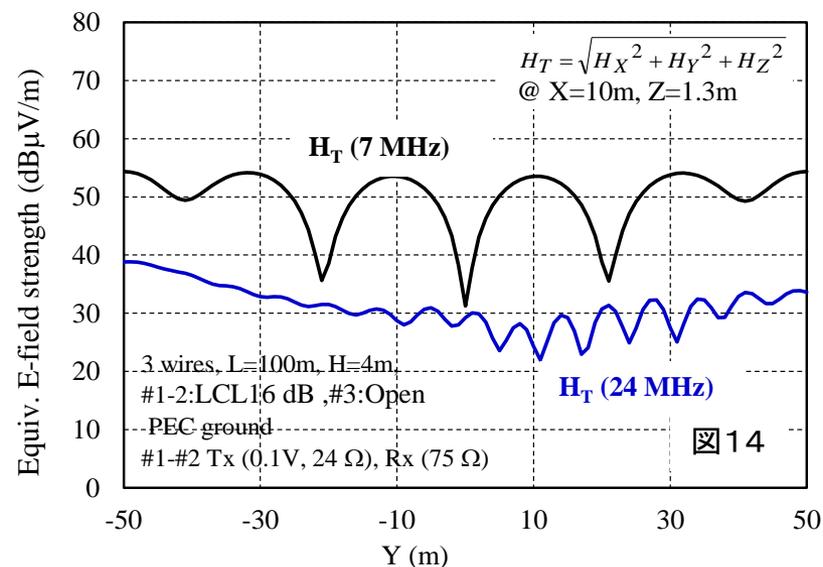
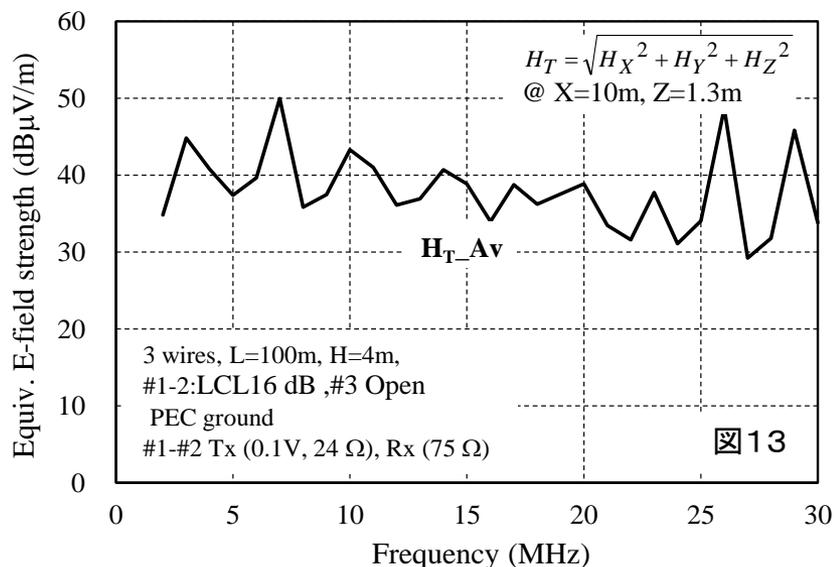


図13 電力線からの離隔距離10mの磁界強度 H_T の平均値を各周波数について図示したもの。なお、2-14MHzおよび15-30MHzにおける平均的な磁界強度は、それぞれ40dB μ V/mおよび36dB μ V/mで、LCL 16dBの平行2線の磁界強度平均値と大差が無いことが判る。

図14 図13の平均値が極値となる7 MHzと24 MHzについて、離隔距離10mの点における磁界強度(等価電界強度)を図示した。なお、屋内モデム装着時の実際の磁界強度は、LCL16dBの発生確率(20dB減)、建物の遮蔽効果(10dB減)、PLC出力の15MHz以上における10dB減を考えると、周囲雑音レベル相当以下と考えられる。

PLC装着3線：電流

(#1-#2線：LCL16dB, #3:接地)

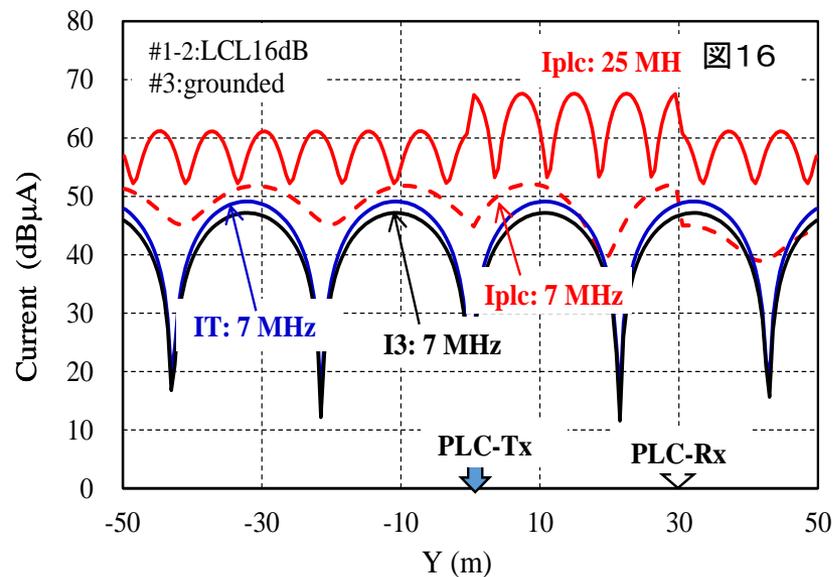
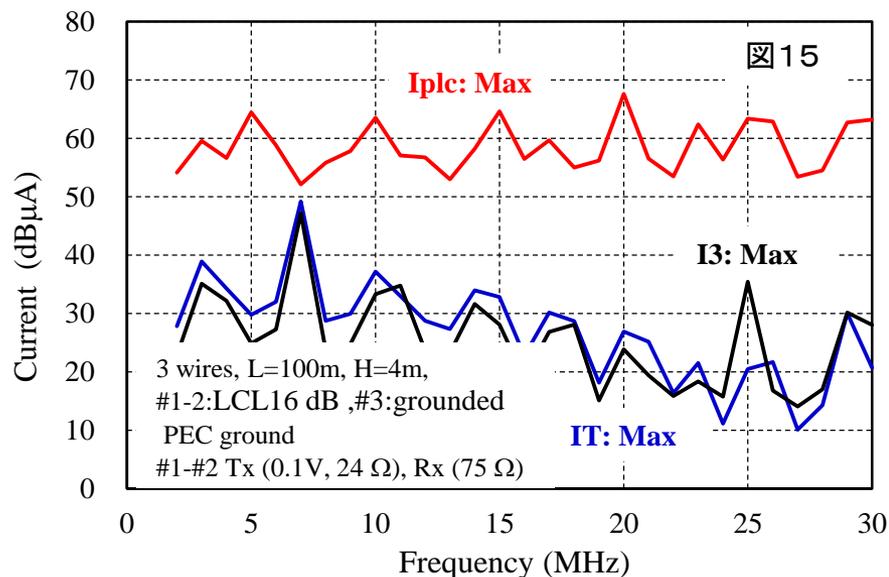


図15 第3線の両端は接地されている。屋内モデム装着2線の両端がLCL 16dBで不整合であるため、大きなI3及びIT ($=I1+I2+I3$)が発生し、I3とITは殆ど同じレベルであることが判る。なお、2-14 MHz及び15-30 MHzにおけるITの平均値は28 dBuA, 17 dBuAであり、第3線開放の場合の電流ITの平均値と大差が無いことが判る。

図16 Iplc, I3, ITの電力線に沿った分布を表示したもの。I3, ITの分布は、モデム区間にかかわらず、全長100mにわたって一定の定在波を生じている。

PLC装着3線：漏えい磁界 (#1-#2線：LCL16dB, #3:接地)

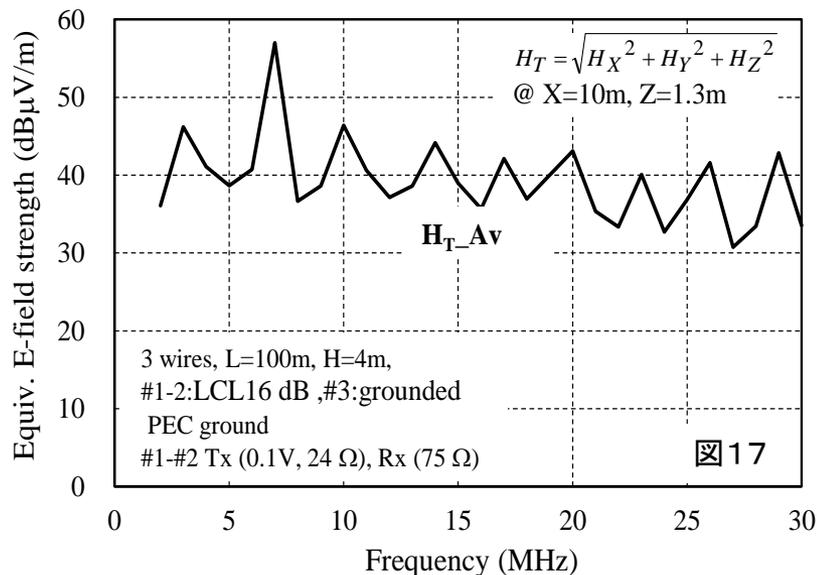


図17 電力線からの離隔距離10mの磁界強度 H_T の平均値を各周波数について図示したもの。なお、2-14MHzおよび15-30MHzにおける平均的な磁界強度は、それぞれ42dB μ V/mおよび37dB μ V/mで、第3線開放の場合の磁界強度の平均値と大差が無いことが判る。

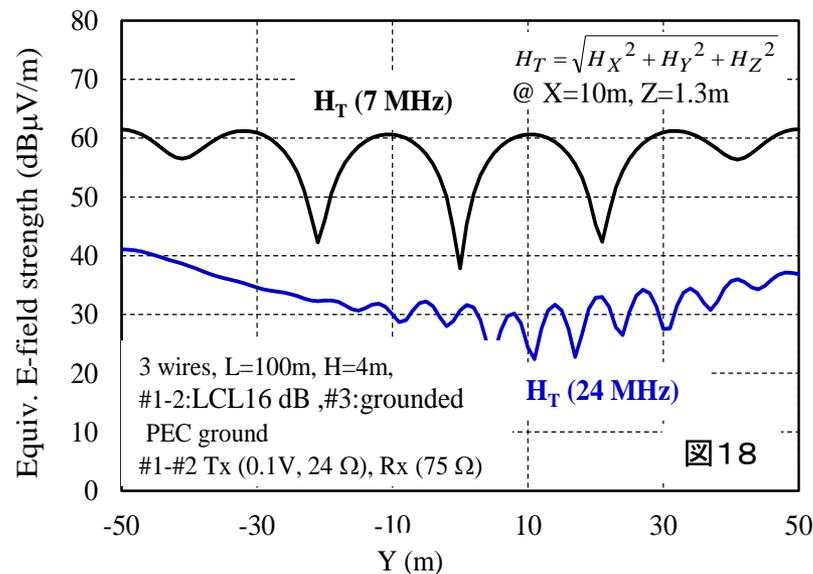


図18 図17の平均値が極値となる7 MHzと24 MHzについて、離隔距離10mの点における磁界強度(等価電界強度)を図示した。なお、屋内モデム装着時の実際の磁界強度は、LCL16dBの発生確率(20dB減)、建物の遮蔽効果(10dB減)、PLC出力の15MHz以上における10dB減を考えると、周囲雑音レベル相当以下と考えられる。

PLC装着2線に及ぼす第3線の影響

<結論>

- (1) 両端が整合終端の平行2線に屋内PLCモデムを接続した場合、漏えい磁界は発生しない。しかし、この2線に平行な第3線を付加するとモデムを接続した第1、2線間の平衡状態が崩れるため漏えい磁界を生じるが、周囲雑音レベル相当以下と考えられる。
- (2) 両端にLCL 16dBの負荷を接続した平行2線に屋内PLCモデムを接続した場合、負荷の極端な不平衡によって強い漏えい磁界を発生する。但し、この2線に平行な第3線を付加しても、全体として漏えい磁界は余り変化せず、第3線の影響は余り見られなかった。但し、特に第3線の両端が接地されている場合は特定の周波数で漏えい磁界が増加することが判った。なお、実際の漏えい磁界強度は、LCL16dBの発生確率(20dB減)、建物の遮蔽効果(10dB減)、PLC出力の15MHz以上における10dB減を考えると、周囲雑音レベル相当以下と考えられる。

以上の理論的考察より、現在法令で許可されている単相2線用屋内・屋外PLCモデムは3相3線にも使用できることが推測される。