

屋内用PLC設備を設置した 三相電力線の近傍磁界

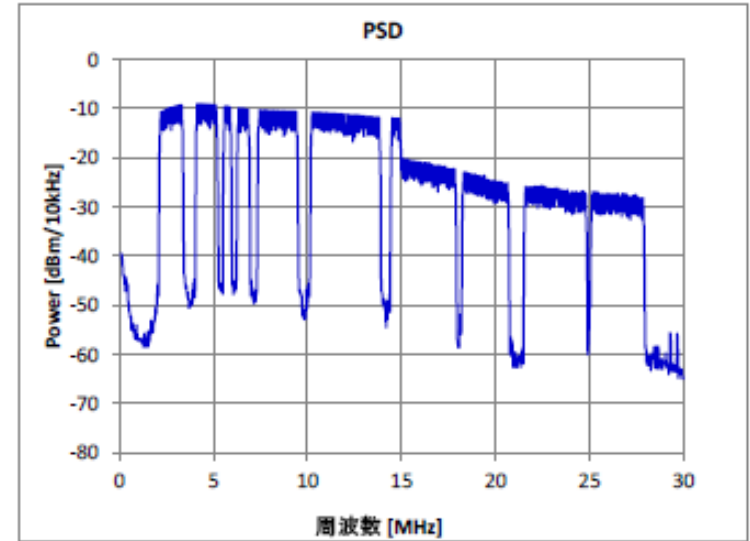
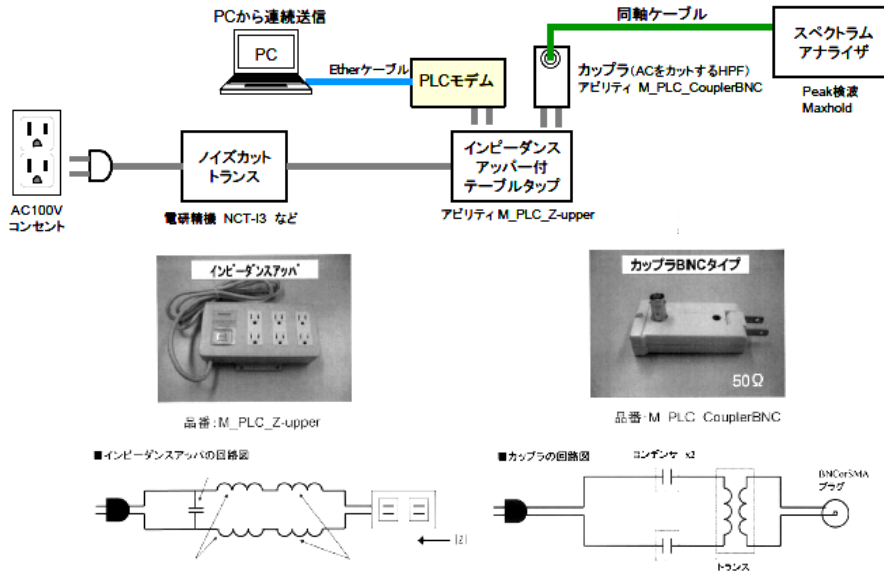
- (1) 三相線の長さ及び設置高の影響
- (2) 大地面の影響
- (3) ダクトの影響

東北大学名誉教授
杉浦 行
(京都大学研究員)

屋内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。

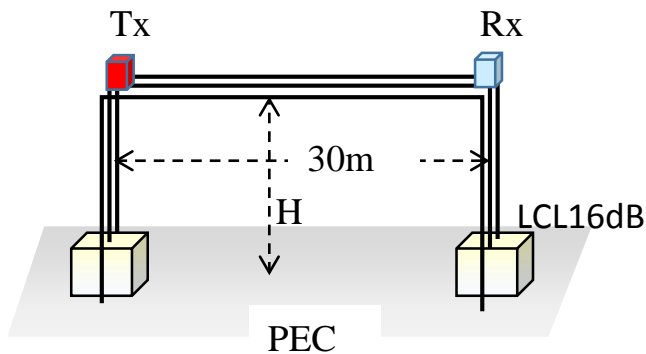
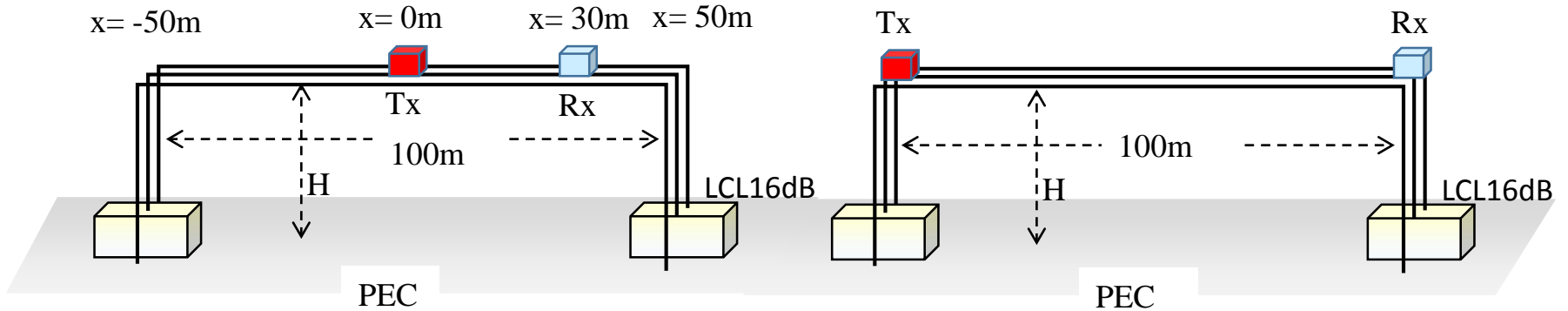
$$V_2 = E \frac{50}{Z_{out} + 50}$$

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、RBW=10 kHzで97dBμV (-10 dBm/10 kHz)であるから、E=0.07 Vとなる。したがって、屋内PLCモデムの起電力を、

2~15 MHz: 起電力 0.1 V/10 kHz程度、 15~28 MHz: 起電力 0.03 V/10 kHz程度と見なして計算する。モデム製造時の入力インピーダンスの設計値は75Ω程度である

屋内三相電力線の解析モデル



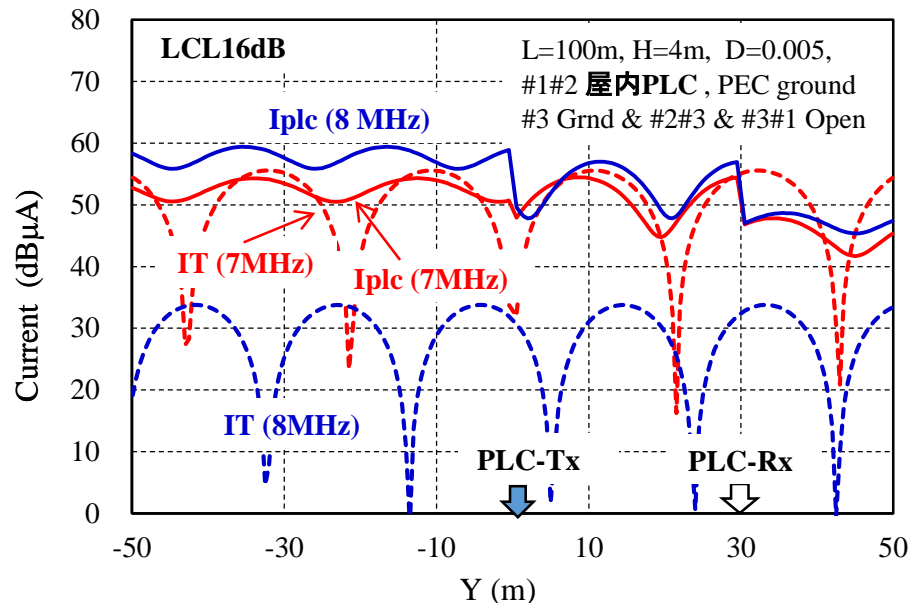
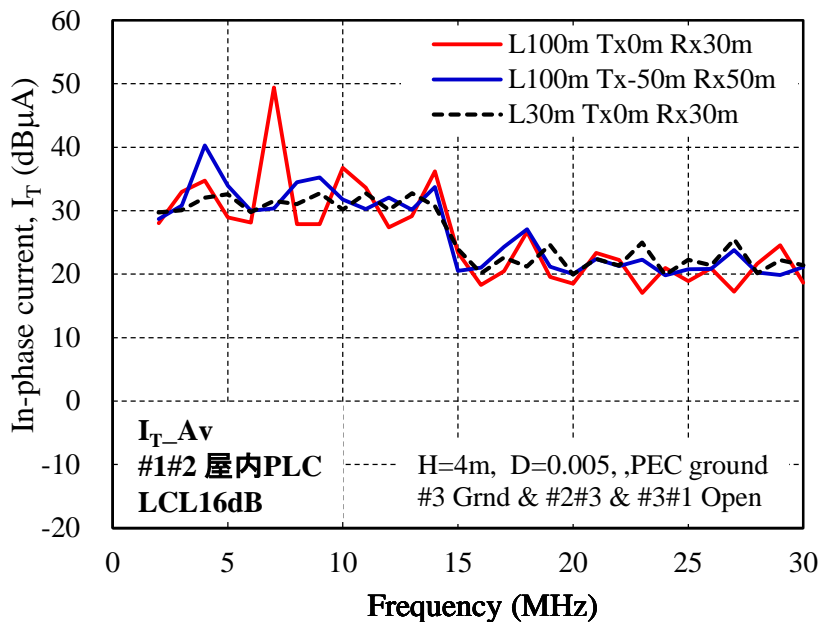
建造物内の1階、2階の配線を考慮し、高さ $H=4\text{m}$ および $H=8\text{m}$ について電磁界解析した。

CVケーブルを想定して、直径 3mm の裸線3線を間隔 5mm で水平に配置した。また、屋内用PLCモデムとして、下記の特性を仮定した。

起電力: 0.1V (2-14MHz), 0.032V (15-30MHz)

入出力抵抗: Tx (24Ω)、Rx (75Ω)

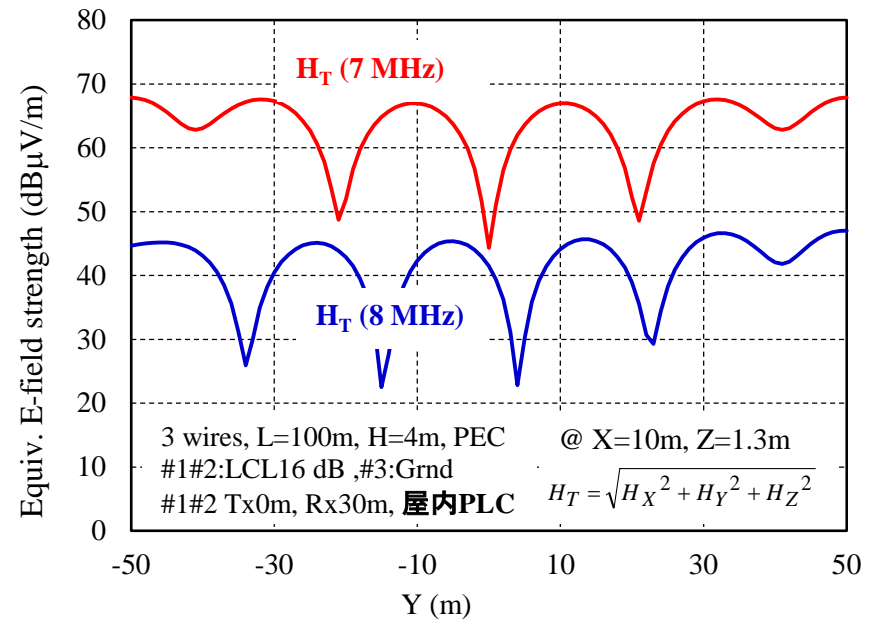
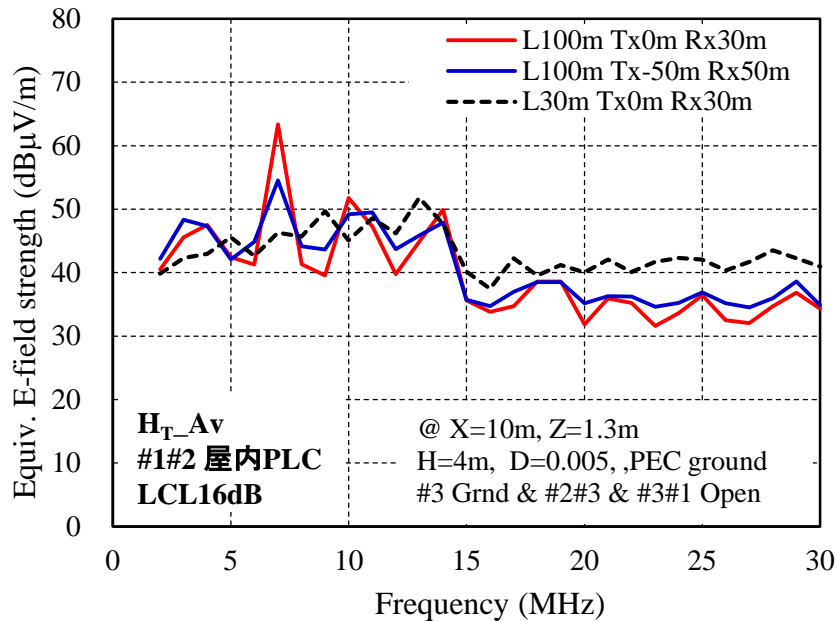
高さ4mの屋内三相線に流れる電流



左図： 各周波数における同相電流 $I_T (=I_1+I_2+I_3)$ の線路に沿った平均値。15MHzで約10dB変化するが、これは屋内PLCモデム出力が減少したためである。同相電流は7MHzで鋭く共振するが、他の周波数では概ね一定であることが判る。

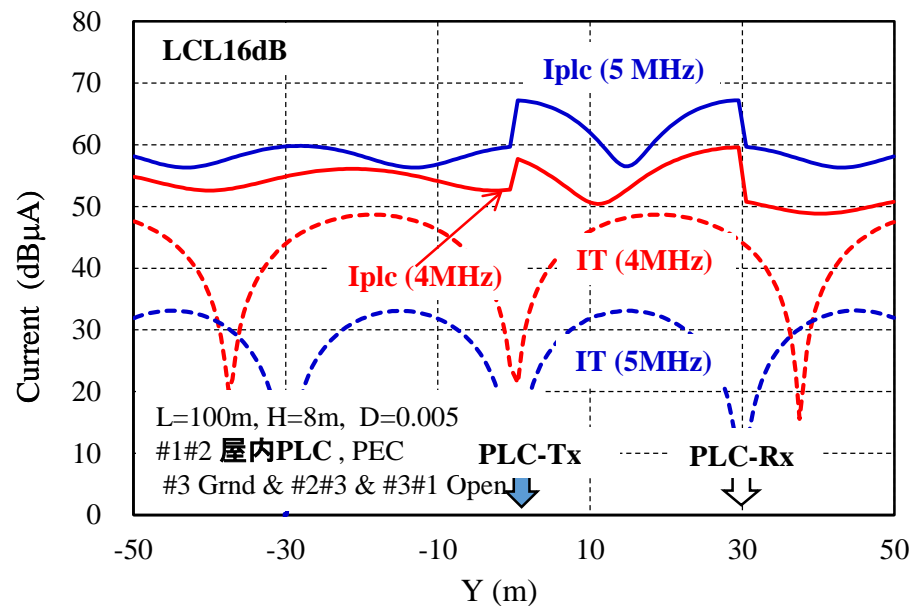
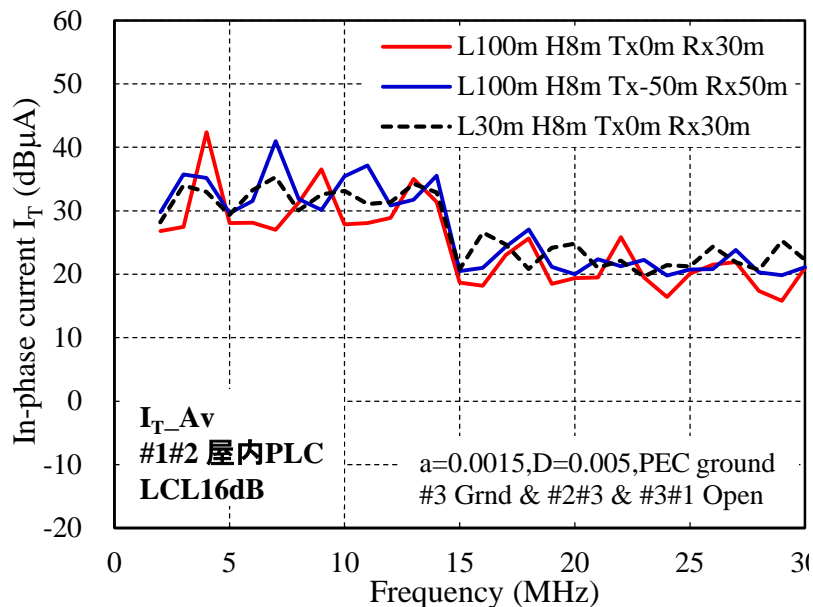
右図： 7MHzと8MHzについて、信号電流 I_{plc} (実線)と同相電流 I_T (点線)の線路に沿った変化を示す。信号電流 I_{plc} は受信モデムより以遠で減衰することが判る。また、同相電流 I_T の共振周波数7MHzでは、回路長が半波長の整数倍になることが判る。

高さ4mの屋内三相線の近傍磁界



- 左図： 各周波数における近傍磁界強度(等価電界強度)の線路に沿った平均値を示す。15MHzで約10dB変化するが、屋内PLCモデムの出力が減少したためである。同相電流に対応して近傍磁界も7MHzで鋭く共振するが、他の周波数では概ね一定である。
- 右図： 7MHzと8MHzについて、近傍磁界の線路に沿った変化を示す。近傍磁界の極大値は線路に沿ってほぼ一定であることが判る。

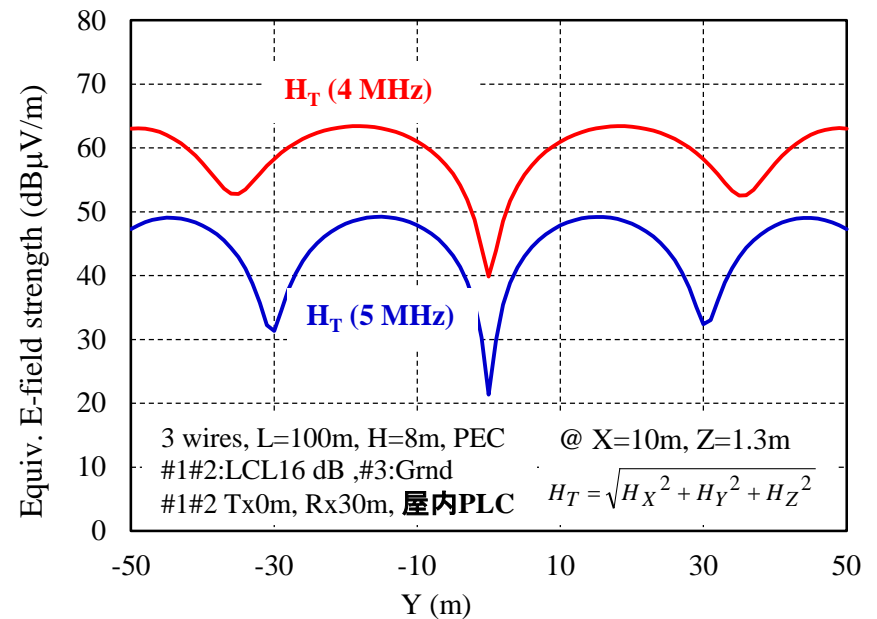
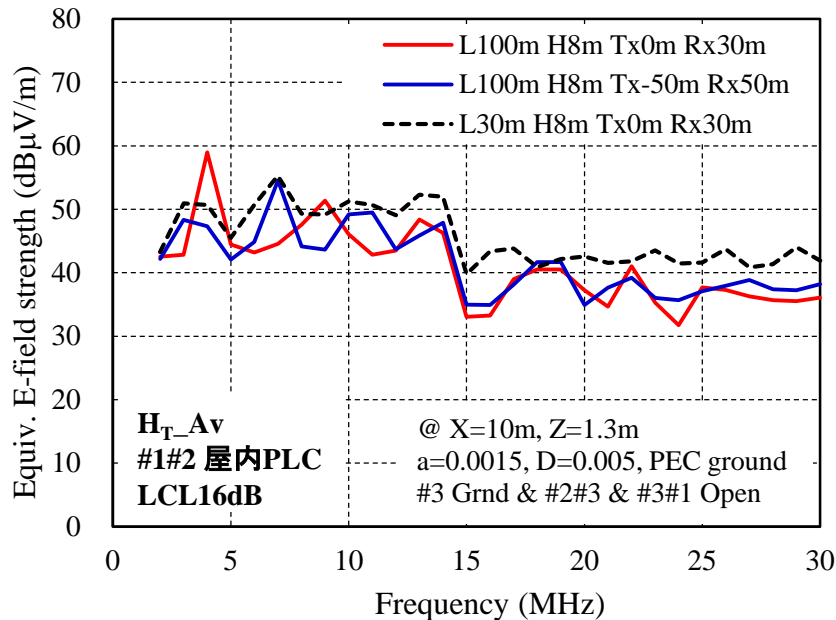
高さ8mの屋内三相線に流れる電流



左図： 各周波数における同相電流 $I_T (=I_1+I_2+I_3)$ の線路に沿った平均値を示す。15MHzで約10dB変化するが、屋内PLCモデムの出力が減少したためである。同相電流は4MHzで鋭く共振するが、他の周波数では概ね一定であることが判る。

右図： 4MHzと5MHzについて、信号電流 I_{plc} (実線)と同相電流 I_T (点線)の線路に沿った変化を示す。信号電流 I_{plc} は、送受モデム間で共振しなければ、受信モデムより以遠で減衰することが判る。また、同相電流 I_T の共振周波数4MHzでは、回路長が半波長の整数倍になることが判る。

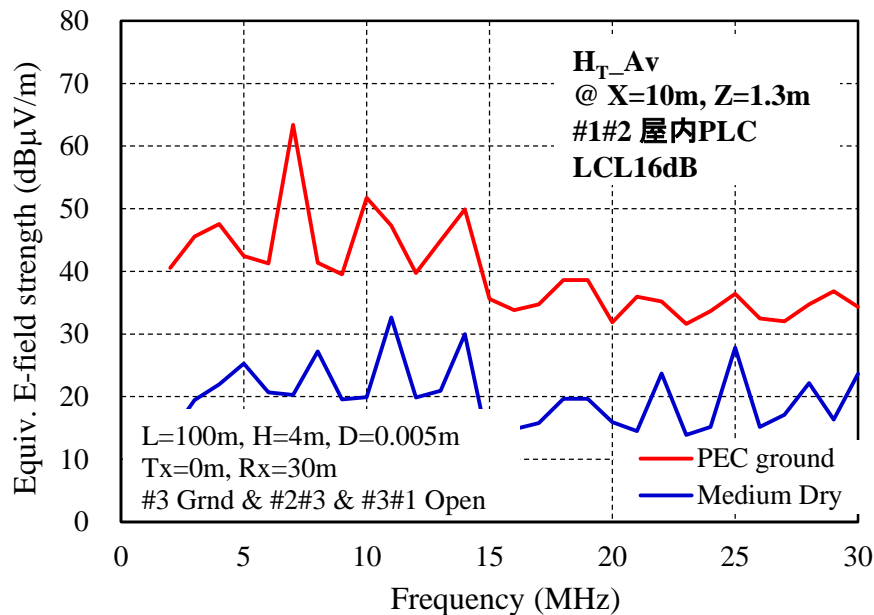
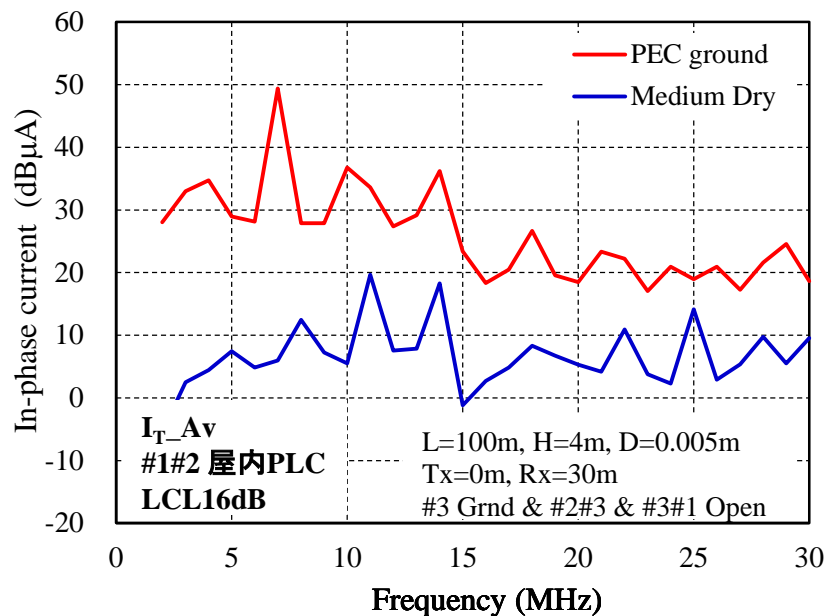
高さ8mの屋内三相線の近傍磁界



- 左図： 各周波数における近傍磁界強度(等価電界強度)の線路に沿った平均値を示す。15 MHzで約10dB変化するが、屋内PLCモデムの出力が減少したためである。同相電流に対応して近傍磁界も4MHzで鋭く共振するが、他の周波数では概ね一定である。
- 右図： 4MHzと5MHzについて、近傍磁界の線路に沿った変化を示す。近傍磁界の極大値は線路に沿ってほぼ一定であることが判る。

大地面特性の影響

金属大地とMedium-dry大地



左図： 金属大地面および一般土壤大地(Medium-dry)上の高さ4mに架設した三相線に送受PLCモデム設置した場合について、同相電流の線路に沿った平均値の周波数特性を示す。全長が100mであるため7MHzで共振し、同相電流が大きくなる。また、一般土壤では金属大地に比べて、同相電流が10dB以上低下することが判る。

右図： 離隔距離10 mにおける近傍磁界強度の線路に沿った平均値の周波数特性を示す。同相電流と同様に、一般土壤では、近傍磁界が20dB程度低下することが判る。

屋内PLC設備付き三相電力線の近傍磁界

金属大地面			同相電流_AV (dB μ A)		磁界_AV (dB μ A/m)		放射電力_AV (dBW)	
長さ (m)	高さ (m)	Tx-Rx (m)	2-14MHz	15-30MHz	2-14MHz	15-30MHz	2-14MHz	15-30MHz
100	4	30	32.4	20.8	45.8	34.8	-72.1	-75.0
100	4	100	32.4	21.7	47.7	36.1	-67.9	-74.7
30	4	30	31.2	22.1	45.7	41.1	-74.3	-75.5

金属大地面			同相電流_AV (dB μ A)		磁界_AV (dB μ A/m)		放射電力_AV (dBW)	
長さ (m)	高さ (m)	Tx-Rx (m)	2-14MHz	15-30MHz	2-14MHz	15-30MHz	2-14MHz	15-30MHz
100	8	30	30.7	20.2	46.4	36.6	-68.9	-74.0
100	8	100	33.5	21.7	46.4	37.6	-71.8	-72.9
30	8	30	32.2	22.6	50.0	42.2	-68.0	-72.8

一般土壌			同相電流_AV (dB μ A)		磁界_AV (dB μ A/m)		放射電力_AV (dBW)	
長さ (m)	高さ (m)	Tx-Rx (m)	2-14MHz	15-30MHz	2-14MHz	15-30MHz	2-14MHz	15-30MHz
100	4	30	7.6	5.9	22.5	17.9	-87.1	-88.7

以上の解析結果をまとめたものを上表に示す。なお、実際の近傍磁界は、解析値より以下の理由により20dB程度低いことが予想される。

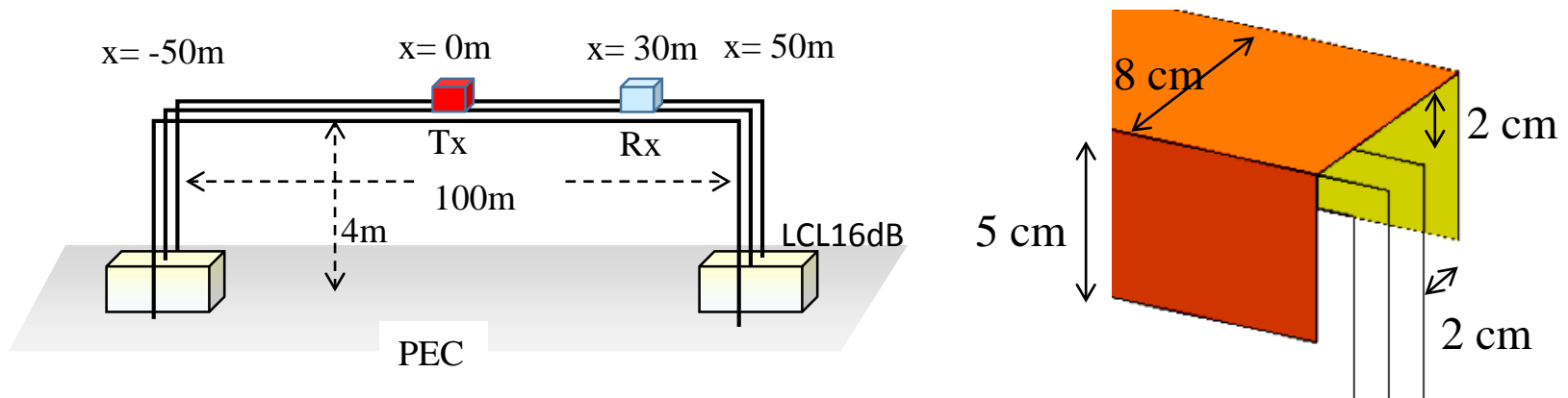
- (1) LCL16dBとLCL32dBの違いにより10dB程度
- (2) 建造物の遮蔽効果により10dB程度

その他、電力線の多数の負荷や分岐線によっても低下する。

したがって、現在許可されている屋内PLC設備を三相3線電力線に設置しても、近傍磁界強度は周囲雑音の代表値と同等か、それ以下であることが予想される。

(周囲雑音の代表値： 28dB μ V/m@2-14MHz, 18dB μ V/m@15-30MHz： H18情通審答申)

ダクト付き三相線の電磁界解析



全長100m、高さ $H=4\text{m}$ の三相線が金属ダクトで覆われている場合について、近傍磁界を電磁界解析した。

ダクト線路を想定して、直径6mmの裸線3線を間隔20mmで水平に配置した。また、屋内用PLCモデムとして、下記の特性を仮定した。

起電力: 0.1V (2-14MHz), 0.032V (15-30MHz)

入出力抵抗: Tx (24 Ω), Rx(75 Ω)

電磁界解析に適した最適セグメント寸法

以下では、電線を取り囲む金属ダクトの影響を電磁界解析するために、導線と細長い金属板の解析に適したセグメント長を検討する。

例として、マイクロストリップ線路(幅10 cm, 長さ19 m, 高さ2 cm, 誘電体:空気)の特性インピーダンスを計算する(下表)。

理論値(近似式)

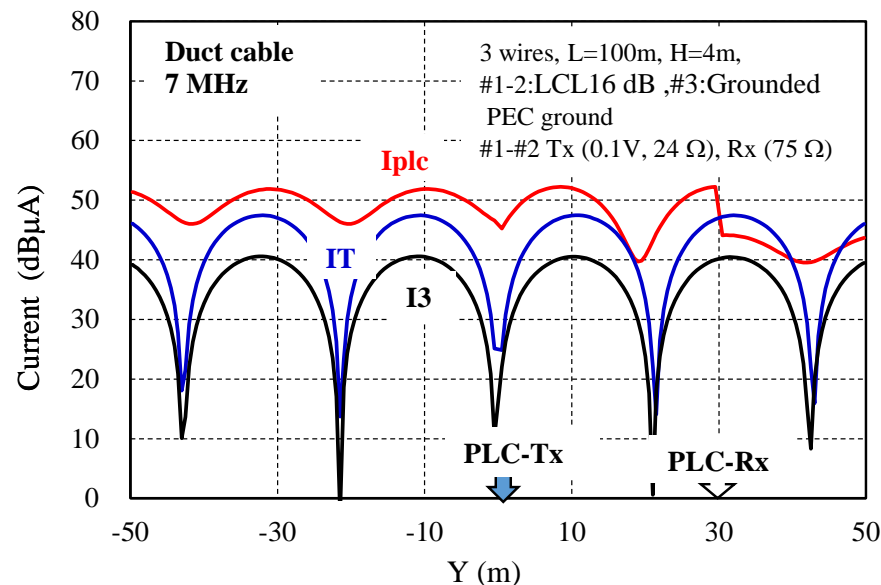
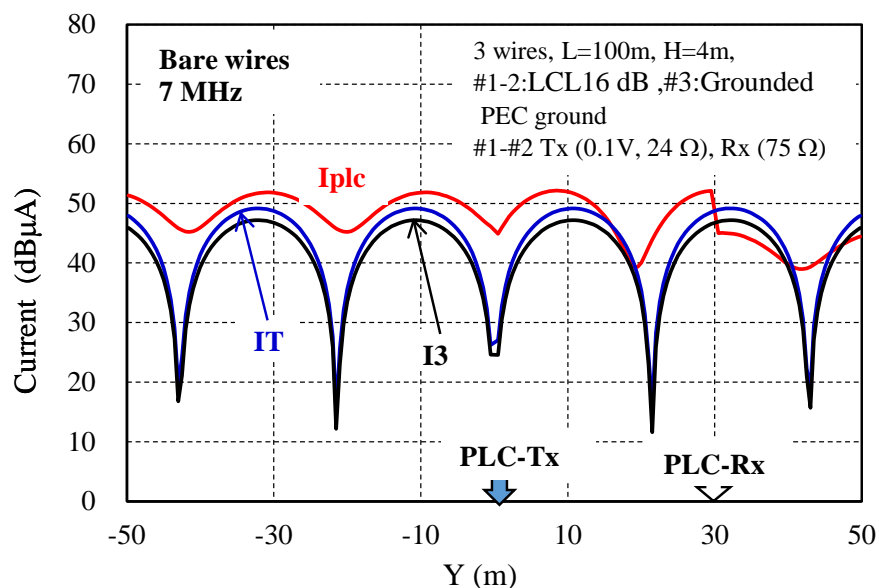
計算値(セグメント長0.5 mに相当するFEKO設定の"Fine" セグメントを使用)

表の結果から、理論値とFEKO計算値では7%程度の差違が認められるが、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。

		Theory	FEKO (dy=Fine)					
MHz	lamda	Zc	Zs Re	Zs Imag	Zinf Re	Zinf Imag	Z0	Error (%)
2	150	49.37	3.23E-05	5.44E+01	1.07E-03	-5.15E+01	53.0	7.29
3	100	49.37	5.12E-04	1.36E+02	6.95E-04	-2.07E+01	52.9	7.24
5	60	49.37	1.83E-03	-1.16E+02	1.02E-03	2.40E+01	52.8	6.98
10	30	49.37	2.13E-03	6.10E+01	2.60E-03	-4.65E+01	53.2	7.81
15	20	49.37	2.71E-03	-1.54E+01	3.41E-02	1.71E+02	51.2	3.78
20	15	49.37	2.46E-01	-3.97E+02	4.88E-03	7.03E+00	52.8	7.03
25	12	49.37	8.69E-03	3.37E+01	2.61E-02	-8.79E+01	54.5	10.30
30	10	49.37	1.44E-02	-3.49E+01	3.11E-02	7.60E+01	51.5	4.25
							AVERAGE	6.83

ダクト付き三相線に関する以下の解析では、セグメント長として従来の解析結果から0.5 m、あるいは上記の結果からFEKO/Fine segmentを採用する。

ダクト付き三相線の電流 7 MHz



金属大地に架設した三相電力線に送受PLCモデムを設置した場合について、信号電流 I_{plc} 、モデムを接続していない第3線の電流 I_3 、及び同相電流(コモンモード電流 $I_T = I_1 + I_2 + I_3$)を線路に沿って示した。

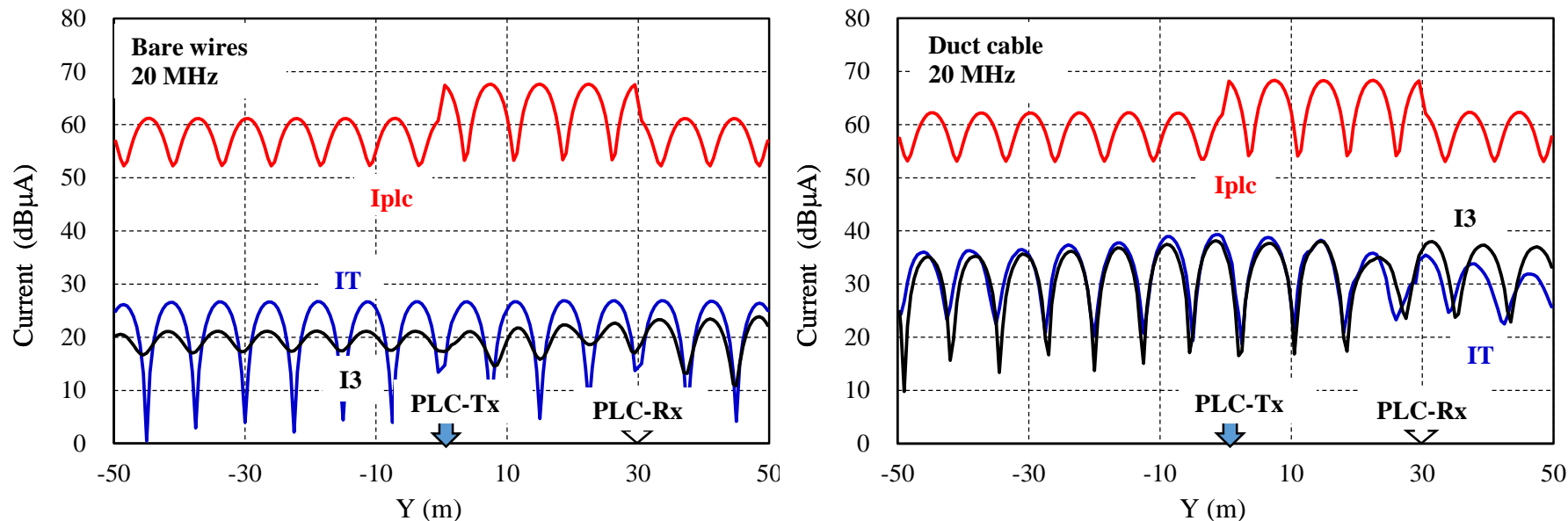
左図 ダクト無し裸線の電力線について、7 MHzにおける電流分布を示した。

右図 ダクト付き電力線について、7 MHzにおける電流分布を示した。

両図を比較すると、ダクトを付けることによって第3線の電流は変化するが、同相電流は殆ど変化しないことが判る。

ダクト付き三相線の電流

20 MHz

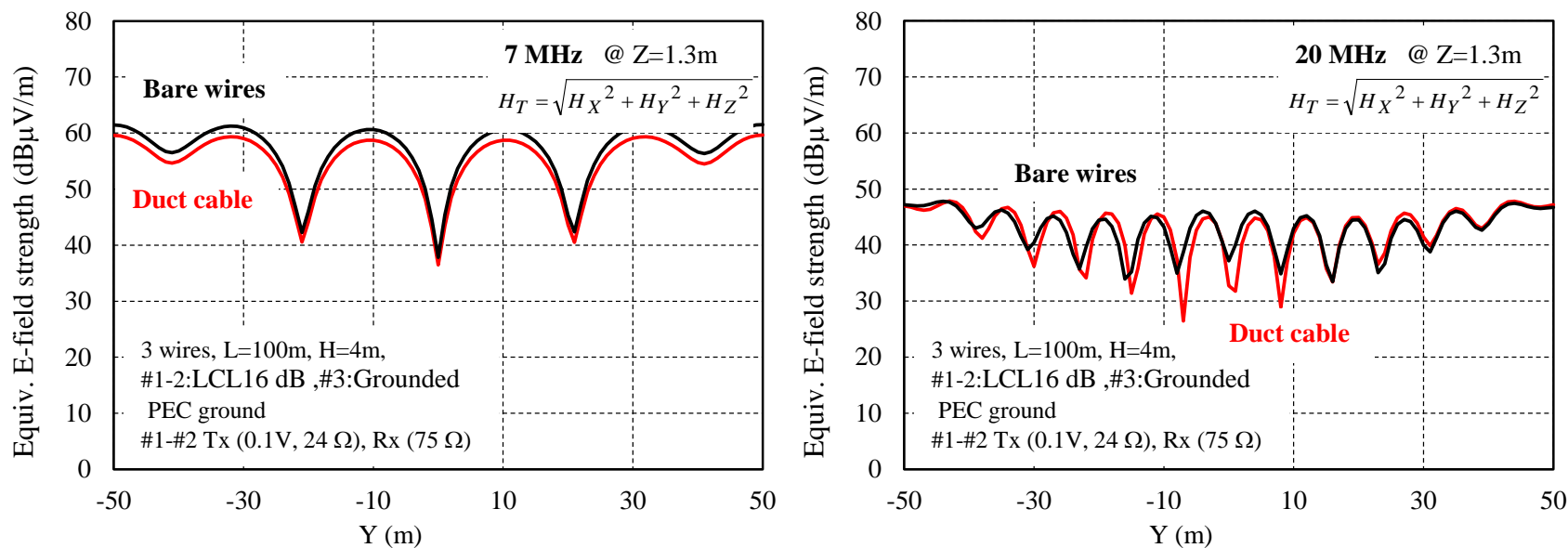


左図 ダクト無し裸線の電力線について、20 MHzにおける電流分布を示した。

右図 ダクト付き電力線について、20 MHzにおける電流分布を示した。

両図を比較すると、ダクトを付けることによって第3線及び全電流が変化することが判る。したがって、7MHz電流分布と比較すると、周波数によってダクトが電流に及ぼす影響は異なることが判る。

ダクト付き三相線の近傍磁界



金属大地に架設した三相電力線に送受PLCモデムを設置した場合について、距離 10m における近傍磁界を線路に沿って示す。

左図： 7 MHz について線路に沿った近傍磁界強度を示す。図から推測されるように、ダクトの有無による磁界強度の変化は殆ど観測されない。

右図： 20 MHz ではダクトの影響によって同相電流 I_T は上昇するが、この図から、漏えい磁界は殆ど変化しないことが判る。これはダクトに流れる電流が同相電流 I_T の上昇を打ち消すためと推測される。

結論として、近傍磁界に対するダクトの影響は余り無いものと思われる。

屋内用PLC設備を設置した 三相電力線の近傍磁界 (まとめ)

以上の電磁界解析結果から以下のことが判った。

- (1) 屋内用PLCモデムを設置した三相電力線の近傍磁界は、3線を同一方向に流れる同相電流に強く支配される。このため、同相電流の回路長が半波長の整数倍になる周波数で近傍磁界は高くなる。
- (2) しかし、鋭い共振は余り観測されず、平均磁界強度の周波数変化は10dB程度である。
- (3) 三相線の地上高や全長による平均磁界強度の変化は、10dB以下である。
- (4) 本資料では、線路の両端に極めて不平衡な負荷を接続して電磁界解析したが、実際の近傍磁界は、解析値より以下の理由により20dB程度低いことが予想される。
 - (a) LCL16dBとLCL32dBの違いにより10dB程度
 - (b) 建造物の遮蔽効果により10dB程度
 - (c) その他、電力線の多数の負荷や分岐線による影響。
- (5) なお、一般土壤上に架設された三相線の近傍磁界強度は、金属大地上に比べて更に20dB程度低下する。

結論として、現在許可されている屋内PLC設備を三相3線電力線に設置しても、近傍磁界強度は周囲雑音強度の代表値と同等か、それ以下であることが予想される。
(周囲雑音の代表値： 28dB μ V/m@2-14MHz, 18dB μ V/m@15-30MHz: H18情通審答申)