

100kHz帯磁界結合型WPTシステムと 6.78MHz帯電界結合型WPTシステムに関する 電波ばく露評価に関する検討

WPT作業班
人体防護アドホックグループ

令和5年5月10日

電波ばく露に関する適合性評価に関する考え方（本資料のまとめ）

- ◆平成27年（2015年）7月17日一部答申における報告書（https://www.soumu.go.jp/main_content/000369518.pdf）で明確化された「WPTシステムの電波防護指針への適合性確認を行うための評価方法」に則り評価
 - (1) 100kHz帯磁界結合型WPTについては、前記報告書「5.2.5.2 家電機器用WPTシステム①」に記載されたパターン①を適用
 - (2) 6.78MHz帯電界結合型WPTについては、前記報告書「5.2.5.4 家電機器用WPTシステム③」に記載されたパターン①を適用

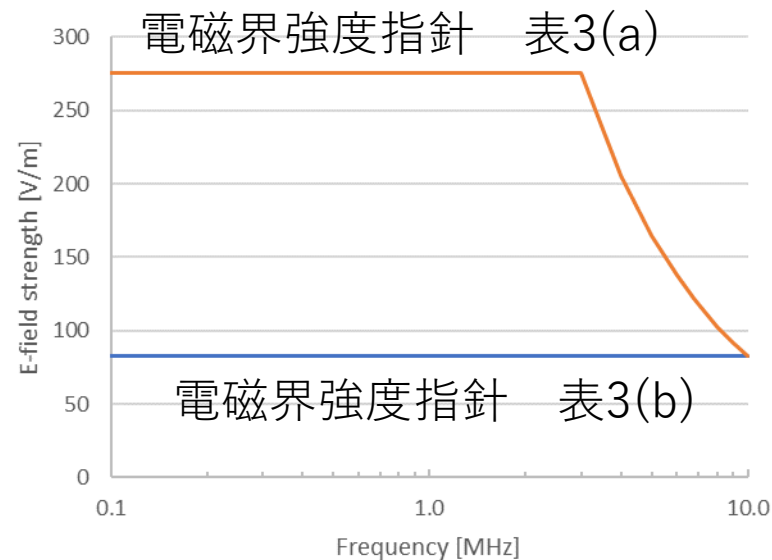


実用化機器において、前回一部答申の報告書に記載された評価方法をそのまま適用可能

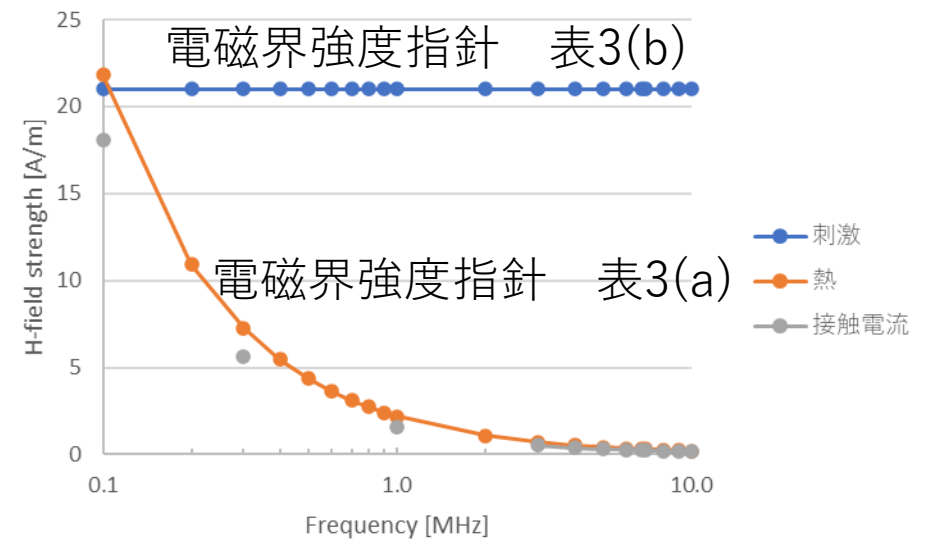
- ◆今回制度化対象の開発中のWPT機器により測定・評価
 - (1) 100kHz帯磁界結合型WPTは、一般環境の指針値以下を確認（スライド3～10）
 - (2) 6.78MHz帯電界結合型WPTは、管理環境の指針値以下を確認（スライド11～16）
- ◆100kHz帯磁界結合型WPTに関するポイント
電波防護指針への適合性確認の際に、受電対象機器（例えば、100kHz帯磁界結合型WPTの場合には、ノートPCの他にタブレット、スマートフォンなども考慮）のサイズなどを事前に明確化して評価する必要がある

評価に用いる電波防護指針の特徴

- 刺激作用に基づく指針値（瞬時）；周波数範囲 10 kHz ~ 10 MHz
- 熱作用に基づく指針値（平均時間6分間）；100 kHz以上



電界



磁界

電磁界強度指針値

100kHz帯磁界結合型WPTシステム

100kHz帯磁界結合型の電波ばく露評価方法（前回一部答申の内容より）

人体が接触又は近接（20cm以内）したり、人体の一部が送受電コイル間に入る可能性：あり

接触ハザード		接触ハザードが防止されていない				
非接地条件		非接地条件が満たされている				
評価方法の分類		パターン①	パターン②	パターン③	パターン④	パターン⑤
適用が考えられる指針値及び根拠となるガイドライン等の組合せ	SAR	全身平均SAR				局所吸収指針
		局所SAR				局所吸収指針
	体内誘導電界強度					局所吸収指針
	接触電流		接触電流に関する補助指針 ※2	接触電流に関する補助指針 ※2	接触電流に関する補助指針 ※4	接触電流に関する補助指針 ※4
			※2：接地金属体を用いた接触電流評価のみ実施	※2：接地金属体を用いた接触電流評価のみ実施	※4：接地金属体および非接地金属体を用いた接触電流評価を実施	※4：接地金属体および非接地金属体を用いた接触電流評価を実施
	足首誘導電流					
	外部電界	電磁界強度指針表3(b) ※1	電磁界強度指針表3(b) ※1	電磁界強度指針表3(b) ※1	電磁界強度指針表3(b) ※1	
		※1：不均一ばく露に関する補助指針の使用不可	※1：不均一ばく露に関する補助指針の使用不可	※1：不均一ばく露に関する補助指針の使用不可	※1：不均一ばく露に関する補助指針の使用不可	
外部磁界	電磁界強度指針表3(a) および 電磁界強度指針表3(b) および 接触電流に関する補助指針から算出される磁界強度(式5.2-2) ※1	電磁界強度指針表3(a) および 電磁界強度指針表3(b) ※1	結合係数による局所SAR評価 および 結合係数による体内誘導電界評価 ※3	結合係数による局所SAR評価 および 結合係数による体内誘導電界評価 ※3		
	※1：不均一ばく露に関する補助指針の使用不可	※1：不均一ばく露に関する補助指針の使用不可	※3：電界強度の影響が無視でき、全身平均SARの評価が不要の場合に限る	※3：電界強度の影響が無視でき、全身平均SARの評価が不要の場合に限る		

100kHz帯磁界結合型の電波ばく露評価のための測定

100kHz帯磁界結合型WPTの利用の前提条件

- ・家庭、オフィス、飲食店など一般環境において利用
- ・送電コイルの直径は80mm程度（受電コイルも同様）
- ・送電装置は受電装置を検知した状態でのみ充電のための送電を行う

電波ばく露評価のための測定方法

- ・測定時はワーストケースを想定し送電コイルと受電コイルの中心をオフセット（位置ずれ状態で測定）
- ・WPT送電時に、送受電装置を中心に水平面内、垂直面内における電磁界強度を測定し、電磁界強度指針値以下であることを確認。測定は、電磁界強度が高いと予想されるエリアを測定。（送電コイルの直下および直上の水平面内、垂直面内）

測定例（スライド6～8）

- ・送電コイルの直下および直上（キーボード上）の80cm四方の水平面内の結果

パターン①に関する評価を実施

◆実測時の周波数130kHzにおける指針値

以下の赤枠で囲った指針値をクリアする必要がある

一般環境の電磁界強度（6分間平均値）の指針値

周波数(k Hz)	100	130	148.5	3000
電界強度E(V/m)	275			
磁界強度H(A/m)	21.800	16.769	14.680	0.727

一般環境の刺激作用からの人体防護に係る電磁界強度の指針値

周波数(k Hz)	10kHz-10MHz
電界強度E(V/m)	83
磁界強度H(A/m)	21
磁束密度の実効値(T)	2.7×10^{-5}

人体防護指針の電磁界強度指針値

表 3 (a) 一般環境の電磁界強度（6分間平均値）の指針値

周波数 f	電界強度の実効値 E[V/m]	磁界強度の実効値 H[A/m]	電力密度 S[mW/cm ²]
100kHz - 3MHz	275	$2.18f \text{ (MHz)}^{-1}$ (21.8-0.728)	
3MHz - 30MHz	$824f \text{ (MHz)}^{-1}$ (275-27.5)	$2.18f \text{ (MHz)}^{-1}$ (0.728-0.0728)	
30MHz - 300MHz	27.5	0.0728	0.2
300MHz - 1.5GHz	$1.585f \text{ (MHz)}^{1/2}$ (27.5-61.4)	$f \text{ (MHz)}^{1/2}/237.8$ (0.0728-0.163)	$f \text{ (MHz)}/1500$ (0.2-1)
1.5GHz - 300GHz	61.4	0.163	1

表 3 (b) 一般環境の刺激作用からの人体防護に係る電磁界強度の指針値

周波数 f	電界強度の実効値 (kV/m)	磁界強度の実効値 (A/m)	磁束密度の実効値 (T)
10kHz - 10MHz	8.3×10^{-2}	21	2.7×10^{-5}

<https://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/material/dwn/guide2035.pdf>

測定の概要

測定の諸元等

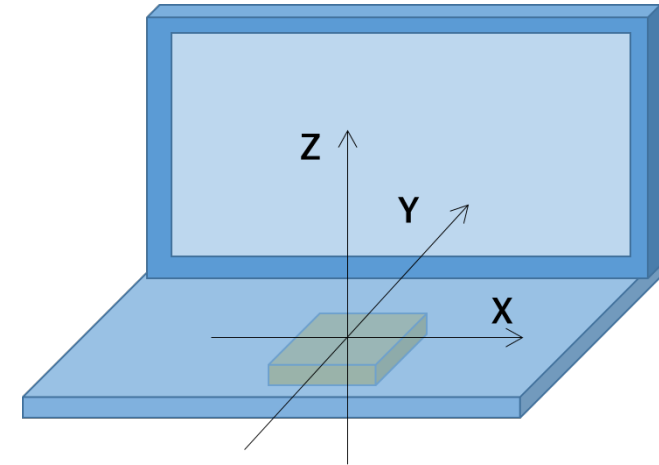
DUT： 100kHz磁界WPT
送電電力： 100 W
電力伝送周波数： 136 kHz

測定器： ELT-400 (Narda)
プローブ径： 100mm
MODE： ICNIRP 2010 Gen.Pub
(電波防護指針電磁界強度指針の一般環境と同一)

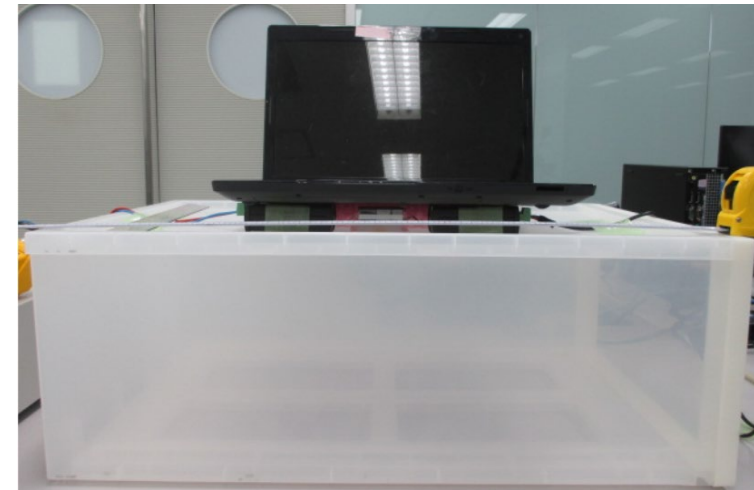
DETECT： Peak

測定平面：
キーボード上のXY面、アクリル板の下のXY面での磁界強度を測定

座標の定義



-X方向から見た様子



-Y方向から見た様子

◆測定器の設定

- 磁界測定器 ELT-400の設定のうち、FIELD STRENGTHモードで検出モードをPeakに設定
- 強度レンジはLOWレンジ (32μT) に設定
- 周波数レンジは30Hz以上に設定 (商用周波磁界の影響を低減する為)

◆XY平面上での磁界強度
(キーボード上、横軸X、縦軸Y)

■ XY1 キーボード上のXY平面		X									
位置		-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	cm
Y	40										
	30										
	20	0.129		0.203		0.216		0.211		0.234	
	10	0.12	0.209	0.258	0.396	0.4	0.33	0.237	0.204	0.189	
	0	0.122	0.188	0.23	0.271	0.286	0.304	0.213	0.156	0.152	
	-10	0.12	0.173	0.266	0.392	0.473	0.335	0.225	0.14	0.142	
	-20	0.12		0.217		0.422		0.179		0.122	
	-30					0.174					
	-40					0.14					
cm											単位: μT

送受電コイルの真上
が最も磁界強度が
高い
 $0.473\mu\text{T} * \mu_0$
 $= 0.38\text{A/m}$

◆XY平面上での磁界強度
(アクリル板の下、横軸X、縦軸Y)

■ XY2 アクリル台裏のXY平面		X									
位置		-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	cm
Y	40										
	30										
	20	0.12		0.178		0.245		0.235		0.14	
	10	0.136		2.403	0.687	2.886	0.687	0.582	0.184	0.122	
	0	0.16		5.973	7.431	19.56	3.901	0.517	0.189	0.12	
	-10	0.158		2.862	11.29	5.662	3.083	0.473	0.189	0.129	
	-20	0.156		0.174		0.291					
	-30										
	-40										
cm											単位: μT

送受電コイルの真上
が最も磁界強度が
高い
 $19.56\mu\text{T} * \mu_0$
 $= 15.57\text{A/m}$

- ◆XZ平面(Y=0) X軸上以外は3A/m以下
- ◆YZ平面(X=0) Y軸上以外は3A/m以下

100kHz帯磁界結合型の測定結果

(1) 電界

指針値 83 V/m (刺激作用に関する電磁界強度指針 表3(b))に対して
簡易測定により、実測値は 2 V/m以下であることを確認済

(2) 磁界

指針値 16.8 A/m (表3(a) 熱作用 6分平均) に対して
実測値は 0.8 A/m以下 (キーボード上)、14.4 A/m以下 (アクリル板の直下)

指針値 21 A/m (表3(b) 刺激作用 瞬時値) に対して
実測値 (Peak値) 0.4 A/m以下 (キーボード上)、15.6 A/m以下 (アクリル板の直下)

(3) 接触電流に関する磁界

※ 式5.2-2から求まる18.1 A/mと比較

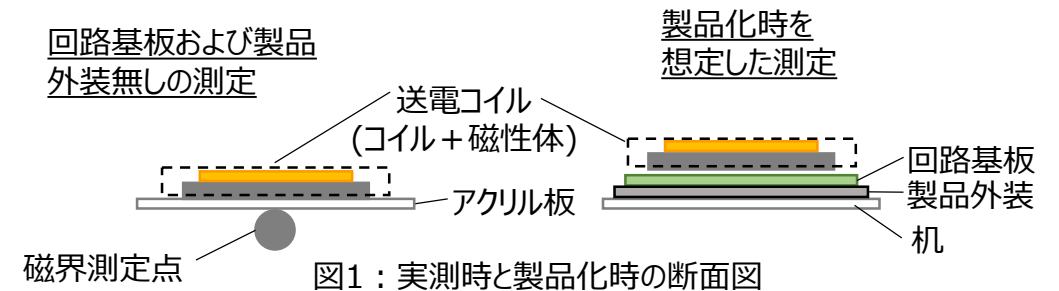
実測値は、0.8 A/mもしくは14.4 A/mであり、接触電流の測定は不要

◆300W送電時に対する考察

- ・電界 ; 約3.5 V/m以下
- ・磁界 ; 100W送電時かつ製品構造を想定した測定 (次項) により、最悪値 (Peak値) で1.9A/m
⇒ 300Wに増力した場合でも指針値以下

100kHz帯磁界結合型のシールド効果

- ◆製品化時の構造によるシールド効果の検証
 - ・製品化時の装置構造を想定した測定を実施
(図1のように、送電コイルは回路基板および充電器の外装を介して机の上に配置)
 - ・製品化時を想定した測定の結果
アクリル板直下の**実測値は15.6A/mから1.1A/mに低減**
(指針値の5%、銅板無しと比較して93%低減)



6.78MHz帯電界結合型WPTシステム

6.78MHz帯電界結合型の電波ばく露評価方法（前回一部答申の内容より）

人体が接触又は近接（20cm以内）したり、人体の一部が送受電コイル間に入る可能性：なし（又は極めて低い）					
接触ハザード		接触ハザードが防止されていない			
非接地条件		非接地条件が満たされている			
評価方法の分類		パターン①	パターン②	パターン③	
適用が考えられる指針値及び根拠となるガイドライン等の組合せ	SAR	全身平均SAR		局所吸収指針	
		局所SAR		局所吸収指針	
	体内誘導電界強度			局所吸収指針	
	接触電流			接触電流に関する補助指針 ※2	接触電流に関する補助指針 ※3
				※2：接地金属体を用いた接触電流評価のみ実施	※3：接地金属体および非接地金属体を用いた接触電流評価を実施
	足首誘導電流				
	外部電界	電磁界強度指針表3(b) ※1	電磁界強度指針表3(b) ※1		
		※1：不均一ばく露に関する補助指針の使用可	※1：不均一ばく露に関する補助指針の使用可		
	外部磁界	電磁界強度指針表3(a) および 電磁界強度指針表3(b) および 接触電流に関する補助指針から算出される磁界強度(式5.2-2) ※1	電磁界強度指針表3(a) および 電磁界強度指針表3(b) ※1		
		※1：不均一ばく露に関する補助指針の使用可	※1：不均一ばく露に関する補助指針の使用可		

6.78MHz帯電界結合型の電波ばく露評価のための測定

6.78MHz帯電界結合WPTの利用の前提条件

- ・工場や管理施設など管理環境においてのみ利用
- ・送電電極（レール）の長さは、長手方向5m以内
- ・受電電極の形状・サイズの決まりはなし
- ・送電装置および受電装置に人が近づいた場合には送電は行わない。送電停止に必要な送電装置・受電装置と人の距離および人の検知方法は各製造者の設計に依存

電波ばく露評価のための測定方法

- ・WPT送電時に、送受電装置を中心に水平面内、垂直面内における電磁界強度を測定
測定は、電磁界強度が高いと予想されるエリアを測定
例えば、水平面内は送受電装置を中心に、床面からある高さにおける、送電電極（レールに平行および直交方向）
垂直面内は、送受電装置を中心に垂直方向
- ・WPT送電時に、人が最も近づくエリアにおいて、電磁界指針値以下であることを確認

測定例（スライド14～15）

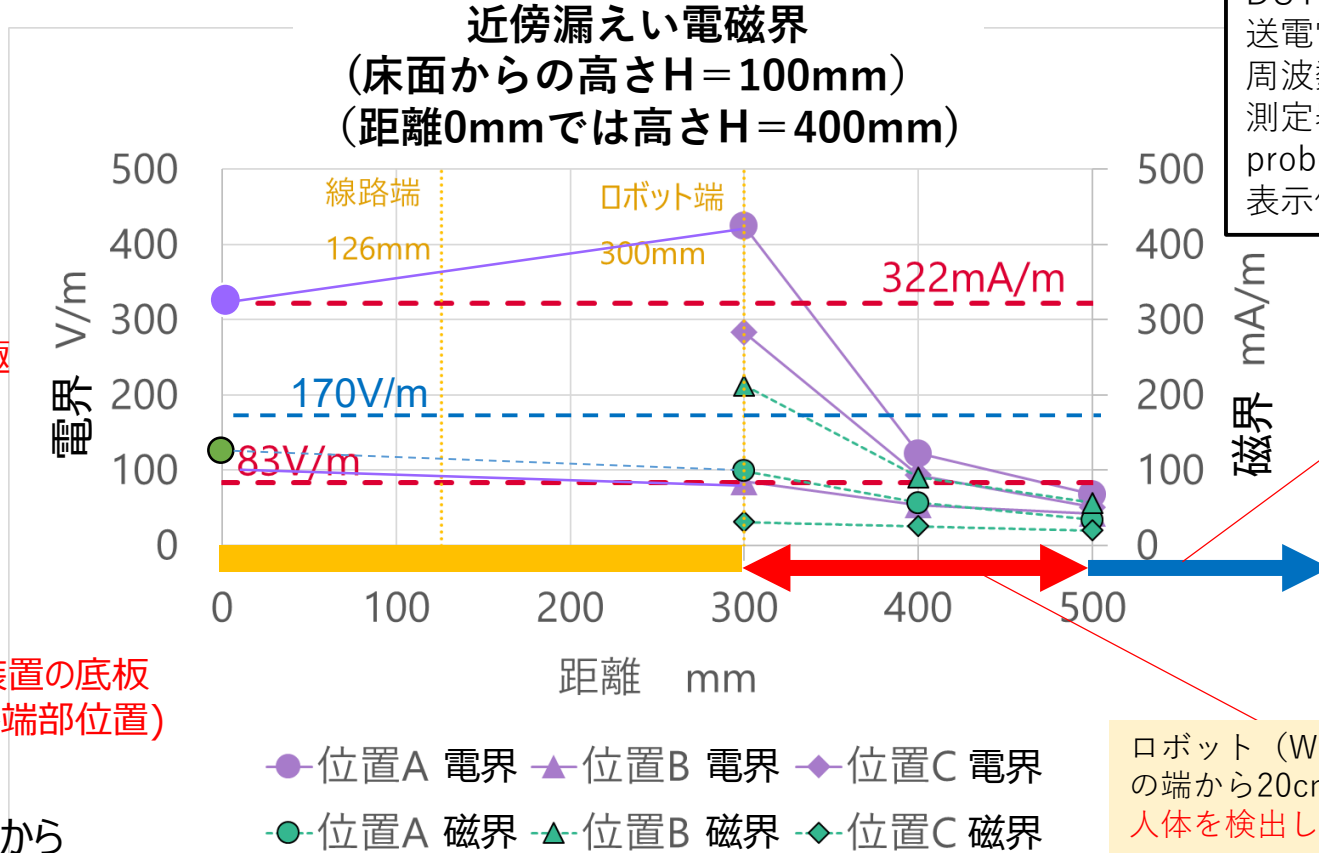
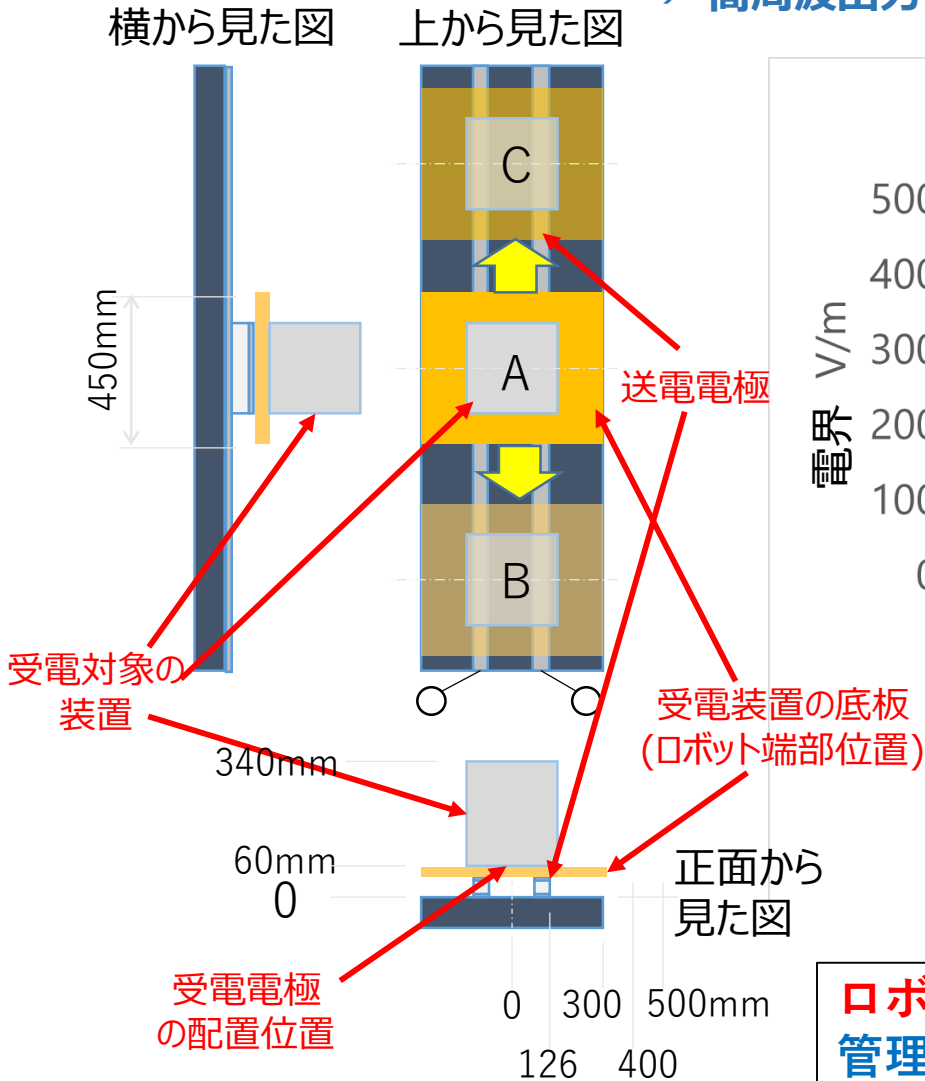
- ・5mの送電電極（レール）の上において、典型的な3か所に受電装置がある場合の測定を実施
- ・受電装置の外枠の大きさは600mm×600mmであり、受電電極は装置中央に配置

※ただし、実運用時には、送電電極（レール）上および装置外枠から200mm以内に人が入った場合には送電しないよう設定

パターン①に関する評価を実施

受電装置を3か所 (A、B、C) に設置して横方向近傍漏えい電磁界 (ロボット端以遠) を測定
 → 高周波出力を500Wから4kWに換算

【測定諸元】
 DUT: 6.7MHz帯磁界結合WPT
 送電電力: 500W(→4kWに換算)
 周波数: 6.780MHz
 測定器: NBM550 (narda製)
 probes: H:HF3061、E:EF0392
 表示値: 最大値



ロボット (WPT受電装置) の端から20cm以上: 送電時に人体のある可能性のある領域

ロボット (WPT受電装置) の端から20cm以内: 人体を検出した場合に送電は停止

ロボット端から200mm以上で、一般環境指針値 (83V/m、322mA/m) 以下
 管理環境で運用される場合の指針値は、170V/m、722mA/m以下

6.78MHz帯電界結合型の電波ばく露の測定結果

◆パターン①による検討・実測を行った。(500Wで送電したものを4kWで換算)

受電装置 (ロボット) の端から20cmで (WPT送電時に20cm以内には人体は入らない)

(1) 電界 (刺激作用に関する表3(b))

[一般環境] 指針値 83 V/m、[管理環境] 指針値 170 V/m に対して

実測値は67.9 V/m

(2) 磁界

(熱作用 表3(a)) [一般環境]指針値 322 mA/m [管理環境]指針値 722 mA/m

(刺激作用 表3(b)) [一般環境]指針値 21 A/m [管理環境]指針値 80 A/m

実測値は56.6 mA/m

(3) 接触電流に関する磁界

※ 式5.2-2から求まる 200 mA/mと比較

⇒ 実測値56.6 mA/mなので接触電流の測定は不要

6.78MHz帯電界結合型の電波ばく露評価のまとめ

- 高周波出力500Wのロボット（床走行AGV）の近傍漏えい電磁界を測定し、4kWに線形換算した。ロボット横方向（進行方向に対して平面内直角方向）への近傍漏えい電磁界は、ロボット端からの距離200mm、高さ100mmで67.9V/m、56.6mA/mとなり、一般環境の電磁界強度指針値以下であった。
- 一般的な工場用ロボットは、運用安全上、歩行者等がロボット端から横方向数100mmに近接すると緊急停止させる仕組みになっているので、上記の値が実際の最大ばく露値と推定される。
- 参考として、ロボット中央直上（ロボットから60mm上）の電波ばく露レベルを評価した結果、325.3V/m、113.1mA/mとなった。磁界強度は一般環境の指針値以下だが、電界強度は管理環境の指針値を上回った。ロボットが存在しない送電電極上においても同様の電界強度が考えられるため、WPT給電区画への人体の立ち入りを光センサ、カメラ、レーダ等で確実に管理、制限する必要がある。

參考資料

100kHz帯WPT装置のExposure STDモード測定の結果

◆XY平面上での磁界強度 (キーボード上、横軸X、縦軸Y)

数値 (%) は指針値100%
としたときの磁界強度の比率

キーボード上のXY平面										
位置	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	cm
40	3.9		3.9		3.9		3.9		3.9	
30										
20	3.9		3.9		4		4.2		4	
10	3.9	4	4.4	4.2	5.1	4.9	4.4	4	3.8	
0	3.9	3.9	3.9	4.4	4.6	4.3	4.3	4.3	4.3	
-10	4	4	4.2	4.4	4.7	4.4	4.2	4.2	4	
-20	4		4		4.2		4.2		4	
-30										
-40	4		4		4		4		4	単位：%
cm										

送受電コイルの真上
が最も磁界強度が
高い
 $16.8 \times 4.7\%$
 $= 0.79A/m$

◆XY平面上での磁界強度 (アクリル板の下、横軸X、縦軸Y)

XY2	%	台の裏、送電コイルの下端から3cm程度、								
位置	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	
40					4					
30										
20	3.9		4.2		4.2		4.2		3.9	
10	3.9		4.4	6.7	10	7	4.4	4	4.2	
0	4		4.6	13	86	16	5.7	4.2	4	
-10	4		4.2	7	12	9.2	4.9	4	4	
-20	3.9		3.9		3.9		3.9		3.9	
-30										
-40					3.9					単位：%

送受電コイルの真下
が最も磁界強度が
高い
 $16.8 \times 86\%$
 $= 14.4A/m$

※ただし、アクリル台とWPTの間に200x100x1(mm)の銅板を挟んだ場合
位置(0,0)において16 %まで低減した

- ◆XZ平面(Y=0) X軸上以外はおおむね4%
- ◆YZ平面(X=0) Y軸上以外はおおむね4%

100kHz帯WPT装置の周波数特性

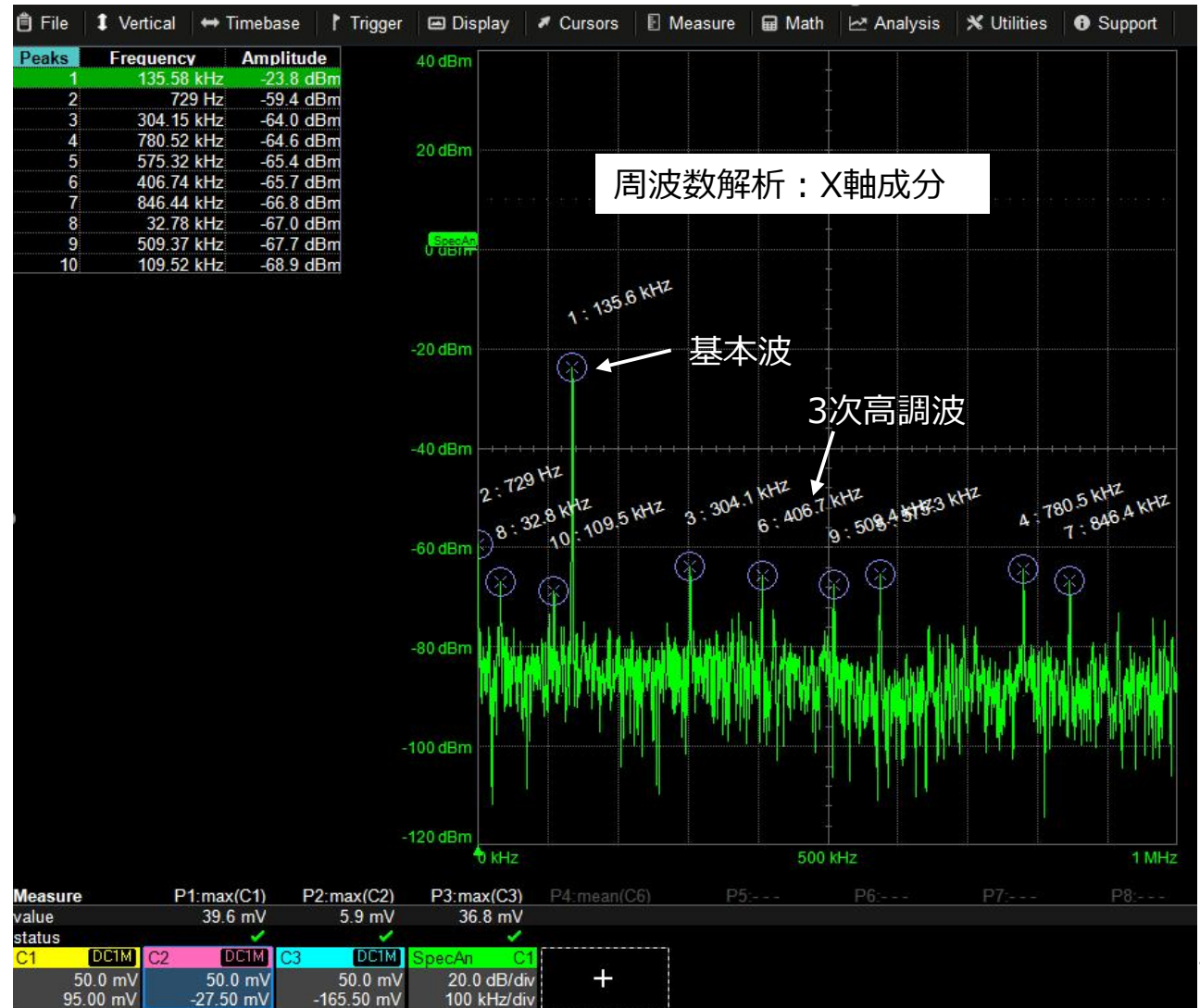
◆フィードバック

- FIELD STRENGTHモードで測定時に、ELT-400のアナログ出力をオシロで記録することで商用周波数成分や高調波の有無を確認でき特をより正確に把握できる
- 測定位置は最大値を示す1点でもよく、プローブのX,Y,Zの3軸成分全てを記録できるとよいが1軸だけでもよい

◆周波数解析

(測定位置：アクリル板の下、(X,Y)=(0,0))

- 商用周波数成分は観測されなかった
- 基本波、3次高調波以外の周波数成分も観測された



6.78MHz帯電界結合型パターン①に関する評価を実施 参考：実測値

人が入った場合に
WPT送電を行わないエリア

位置	W	H	500W測定値		4kW換算値	
			電界強度 V/m	磁界強度 mA/m	電界強度V/m	磁界強度 mA/m
B	300	100	30	75	84.9	212.1
	400	100	19	32	53.7	90.5
	500	100	15	20	42.4	56.6
A	0	400	115	40	325.3	113.1
	300	100	150	35	424.3	99.0
	400	100	43	20	121.6	56.6
	500	100	24	12	67.9	33.9
C	300	100	100	11	282.8	31.1
	400	100	33	9	93.3	25.5
	500	100	18	7	50.9	19.8

ロボット
(WPT
受電装置)の端
から20cmに
おける最悪値

ロボット(WPT
受電装置)中央
直上(6cm)に
おける電磁界
強度(位置A)