

電波利用環境委員会およびWPT作業班での コメントに対する回答

2024年1月24日
BWF WPT-WG

BWF
Broadband Wireless Forum

電波利用環境委員会およびWPT作業班でのコメント

第14回WPT作業班 資料14-1「近接結合型WPTの利用高度化に向けた検討状況について（事務局）r2」より6.78MHz帯電界結合方式に関するコメントのみ抜粋

1 第45回電波利用環境委員会でのコメント

(1) 全般的事項

- WPTと負荷装置の相互作用による漏えい電波の発生しないのか確認すべき
- 負荷側の状態の変化（給電、充電、動作等）によって漏えい電波が変化しないか確認すべき
- 負荷が存在しない場合に安全は確保されるのか確認すべき
- 試験場の条件をどのように規定するのか検討すべき

(2) 6.7MHz帯電界結合方式

- 多くの設備が同時に稼働した場合の漏えい電波の重畳効果について評価すべき
- 負荷の位置の変化に伴う漏えい電波の発生特性の変化についての評価すべき
- 測定を行う環境（試験場）と実際の使用環境で、漏えい電波の発生特性が変化しないのか確認すべき
- 設置場所は工場に限定できないのではないのか

2 第12回及び第13回作業班でのコメント

- WPTと負荷装置の相互作用による漏えい電波の発生しないか確認すべき
- システム全体でどのような漏えい電波が発生するのか確認すべき
- 待機時にどのような漏えい電波がでるのか、人体防護の観点から評価すべき
- 6.78MHz帯電界結合方式について、アマチュア無線を検討対象として位置付けていただきたい

電波利用環境委員会およびWPT作業班でのコメントに対する回答（1）

| コメント | 会議等 | BWF回答 |
|--|--|---|
| WPTと負荷装置の相互作用による漏えい電波の発生しないのか確認すべき | 第45回電波利用環境委員会でのコメント 第12回及び第13回作業班でのコメント | 受電装置の受電回路において、WPTにより送電された電力は、必ず、充電電池（バッテリー）に入力される構成になっております。従って、WPTと負荷装置の相互作用は限定的であると考えます。型式申請の際には、この構成における測定により漏えい電磁界の発生を確認する必要があると考えます。（下記回答も本コメントの回答に関連します） |
| 負荷側の状態の変化（給電、充電動作等）によって漏えい電波が変化しないか確認すべき | 第45回電波利用環境委員会でのコメント | 充電受電回路側には、電圧変動への対応などのためDC-DC変換、BMS（バッテリー・マネージメント・システム）が装備されています。この構成により、バッテリーの充電状態が違っていても、受電回路（整流回路）から負荷側への電氣的負荷変動は発生しないようになっています。バッテリーの充電状態変化による不要放射の変動は少ないことは測定により確認済みです。結果的に、伝送電力が最大となる場合に、不要の漏えい電磁界が最大（最悪）になることを確認しております。 （以上について、第15回WPT作業班資料「6.78MHz帯電界結合型WPTに関する制度化の範囲および測定条件に関する考え方案」および同資料の「参考資料1」にも記載） |
| 負荷が存在しない場合に安全は確保されるのか確認すべき | 第45回電波利用環境委員会でのコメント | 充電電池を実装する受電装置が送電電極上にあることを認識した時だけに送電を行い、待機時にはWPTによる送電を行いませんので、負荷が存在しない場合の安全性は確保できるものと考えています。 |

電波利用環境委員会およびWPT作業班でのコメントに対する回答 (2)

| コメント | 会議等 | BWF回答 |
|-------------------------------------|---------------------|---|
| 試験場の条件をどのように規定するのか検討すべき | 第45回電波利用環境委員会でのコメント | BWFとして考える測定条件については、別資料「6.78MHz帯電界結合型WPTに関する制度化の範囲および測定条件に関する考え方案」にて提案させていただきます。 |
| 多くの設備が同時に稼働した場合の漏えい電波の重畳効果について評価すべき | 第45回電波利用環境委員会でのコメント | 6.78MHz帯電界結合型WPTにおいては、一つの送電機（送電レールは最大5m）の上に複数の受電装置を配置して、同時にWPTによる充電を行うことはありません。また、同じ敷地内に複数の送電機を配置するアグリゲーションの問題について検討しました（ 補足資料1「複数WPT装置によるAggregation影響の検討」 ）。WPT装置の設置台数は最大3台程度であり、最悪条件下での検討結果では、10%の確率で不要放射レベルが8.35dB上昇し、これにより所望波／不要波（S/N）が劣化する可能性があります。しかし、複数WPT装置の同時動作の時間率や不要放射の実力値などを考慮すると、アグリゲーションによる不要放射の上昇は無視できると考えられます。 |

電波利用環境委員会およびWPT作業班でのコメントに対する回答 (3)

| コメント | 会議等 | BWF回答 |
|------------------------------------|---------------------|---|
| システム全体でどのような漏えい電波が発生するのか確認すべき | 第12回及び第13回作業班でのコメント | <p>WPTシステムと受電部に搭載される他の電子機器との相互干渉についての検討を行いました（補足資料2「WPT作業班における6.78MHz帯電界結合型WPTにおける他の電子機器との相互干渉に関する検討」に記載）。WPTシステムのON/OFFとロボット制御部・無線通信部のON/OFF時の漏えい放射妨害波の測定を行った結果、漏えい放射妨害波のレベルに顕著な差は見られませんでした。WPT利用周波数と無線通信の周波数を離す、受電部は充電機に接続する（受電整流器から直接他の電子機器と接続しない）などの配慮（設計）を行うことにより、WPT機器と他の電子機器との相互干渉（相互変調も含む）による不要放射の発生を防ぐことが可能であると考えます。なお、以上の対策は、製品規格としての標準化の中で明確化したいと考えています。</p> <p>ただし、将来的に、PCなどに相当するデジタルデバイスを搭載するようなことになった場合に、相互干渉の懸念が問題になる可能性がありますので、報告書には将来課題として明記させていただきます。</p> |
| 負荷の位置の変化に伴う漏えい電波の発生特性の変化についての評価すべき | 第45回電波利用環境委員会でのコメント | <p>送電電極（送電レール）に対する受電位置の違いによる漏えい電磁界の変化についての測定した結果を第15回WPT作業班資料「6.78MHz帯電界結合型WPTに関する制度化の範囲および測定条件に関する考え方案」の「参考資料2」に掲載します。受電装置が電源に近い位置にある場合に、漏えい電磁界が5dB程度大きくなる傾向がありますが、最悪値でも、許容値（施行規則第46条の2第1項第9号（2）記載の6.7MHz帯磁界結合型一般用非接触電力伝送装置の許容値44dBμA/m@10m）を満足しています。型式申請の際の測定においては、受電位置、放射方向により不要放射が変化するので、最悪条件により測定を行う必要があると考えます。</p> |

電波利用環境委員会およびWPT作業班でのコメントに対する回答 (4)

| コメント | 会議等 | BWF回答 |
|---|---------------------|---|
| 測定を行う環境（試験場）と実際の使用環境で、漏えい電波の発生特性が変化しないのか確認すべき | 第45回電波利用環境委員会でのコメント | 型式申請の際の試験場における測定の際には、実際の使用環境を想定した最悪の条件で測定を行うべきと考えております。 |
| 設置場所は工場に限定できないのではないのか | 第45回電波利用環境委員会でのコメント | 工場、建設現場、物流拠点など管理環境下でのみの利用に限定したいと思います。（第14回WPT作業班資料14-3「検討対象のワイヤレス電力伝送システムの技術的要件と利用シーン、不要放射の測定データについて」にてご説明済） 利用場所を限定する方法として、製品として提供する際に、表示や取説などに明示することなどを考えています。 |
| 待機時にどのような漏えい電波がでるのか、人体防護の観点から評価すべき | 第12回及び第13回作業班でのコメント | 受電装置が送電電極上にあることを認識した時だけに送電を行い、待機時にはWPTによる送電を行いませんので、待機時における人体への影響はありません。 |
| 6.78MHz帯電界結合方式についてアマチュア無線を検討対象として位置付けていただきたい | 第12回及び第13回作業班でのコメント | 6.78MHz帯電界結合方式においてアマチュア無線システムとの共用検討を行い、その結果を第14回WPT作業班にて報告させていただきました。（資料14-4「6.78MHz帯電界結合および100kHz帯磁界結合WPTシステムとアマチュア無線システムの周波数共用検討に関する検討について」にてご説明済） |

(補足資料1)

複数WPT装置によるAggregation影響の検討

BWFF

Broadband Wireless Forum

Aggregation影響検討の概要

【検討の背景】

- ✓ 第45回電波利用環境委員会において「多くの設備が同時に稼働した場合の漏えい電波の重畳効果について評価すべき」というご指摘があった。
- ✓ 2023年10月30日に行われたCISPRの関係者との協議において、「複数のWPT設置時についてもなんらかのシミュレーションもしくは測定など、目安があったほうが良い」との指摘があった。

【本検討の目的】

複数のWPT装置が存在した場合のAggregation効果についてモデル化を行った上で、数値計算による評価を行う。

【Aggregation影響の検討の進め方】

- (1) 複数のWPT装置を設置するモデル例
- (2) 最悪条件下での検討
- (3) 現実的な利用条件における影響についての考察

【結論】

- ✓ 現実的に想定し難い最悪条件下での検討結果では、10%の確率で不要放射レベルが8.35dB上昇し、これにより所望波／不要波（S/N）が劣化する。
- ✓ しかし、複数WPT装置の同時動作の時間率や不要放射の実力値などを考慮すると、Aggregationによる不要放射の劣化は無視できる。

(1) 複数のWPT装置を設置する場合の検討モデル

◆ 3台のWPT装置 (A、B、C) を5m間隔で配置

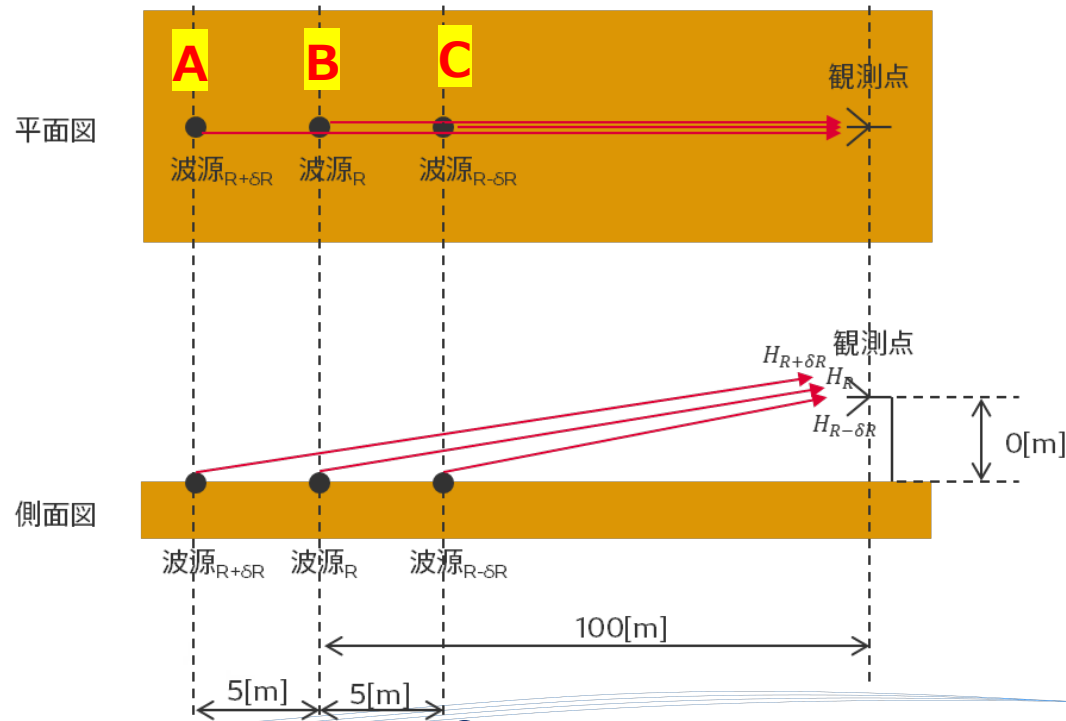
実際に想定される複数のWPT装置を配置数としては最大3台程度

※①送電電極 (レール長が5m) の方向にWPT装置を複数台配置する場合 (この場合にはWPT装置は50m間隔に配置) と、
②送電電極 (レール) を平行に配置し、その各々にWPT装置を複数台配置する場合 (この場合にはWPT装置は最小のレール間隔になる5m間隔で配置) が想定される。不要放射への影響が大きい後者の場合によるシミュレーションを実施した。

◆ 3台のWPT装置と同じ直線上にある100m先での磁界強度の合算値を計算

不要放射が最大となる方向での合算する条件になるため、放射方向の角度による依存性は無視できる

◆ 3台のWPT装置は独立に動作していることから、同一周波数で動作するとして、励振位相をランダムに設定



(2) 最悪条件下での検討

まずは、最悪値を計算するため、以下の条件を仮定

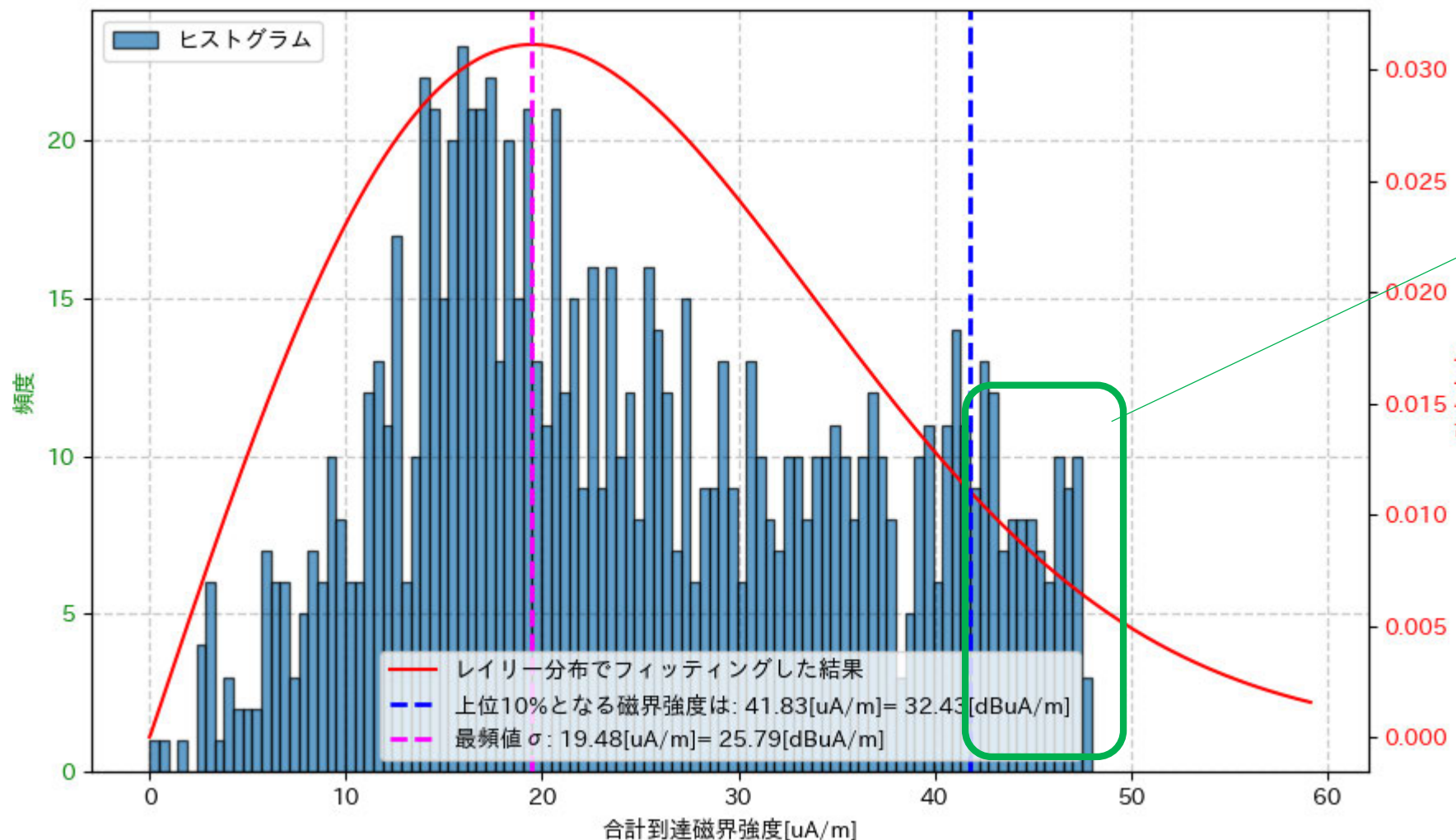
- ✓ 想定する放射妨害波の許容値 (44[dB μ A/m]@10m) で計算
- ✓ WPT装置は全て同時に電力伝送システムとして稼働
- ✓ WPT装置は同一周波数で稼働
- ✓ WPT装置からの不要放射の磁界強度は距離に反比例 (遠方界になる場合の距離減衰)
- ✓ WPT装置からの不要放射方向の特性 (指向特性) については、全てのWPT装置からの最大の不要放射方向が合致
- ✓ WPT装置からの不要放射の磁界成分 (例えば、x、y、z方向成分) については、全てWPT装置からの最大の磁界成分で合算



WPT装置の励振位相を $[0 \sim 2\pi]$ で一様ランダムに設定し、1000回試行

⇒ 100mの距離における合算した磁界強度の分布をヒストグラム化し、Raileigh分布でフィッティング

最悪条件下での検討結果



出現頻度の上位10%
となる領域
(磁界強度が32.43
dB μ A/m@100m以
上)



1波源の場合の100mの
磁界強度が24dB μ A/m
であるので、10%の確
率で8.43dB上昇する
ということになる

(3) 現実的な利用条件における影響についての考察

【最悪条件下での検討結果】

✓ 10%の確率で不要放射レベルが8.43dB上昇（劣化）する

【しかし、現実的な利用条件では、不要放射への影響は限定的（以下の表参考）】

| | 最悪時の条件 | 現実的な利用条件など | 現実条件下での緩和要素 |
|-----|--|---|--|
| 仮定1 | 想定する許容値（44 dB μ A/m@10m）で計算 | 実測データでは不要放射の磁界強度は38 dB μ A/m@10m以下（測定データ提供済） | 実際の装置では不要放射レベルが低くなる可能性あり |
| 仮定2 | WPT装置は全て同時に電力伝送システムとして稼働 | 全てのWPT装置が同時に稼働することは少ない。一台のWPT装置が充電で稼働するのは、典型的な例としては24時間中2.5時間程度であり、最大でも同時稼働の時間率は10%以下になる。複数のWPT装置が同時に稼働する確率は更に低くなる。 | 頻度確率として、仮に10%の時間率を乗算 |
| 仮定3 | WPT装置は同一周波数で稼働 | WPT機器の周波数は固定であるが、製造における偏差がある。そのため、厳密には周波数は一致しない。 | WPT機器の周波数偏差と影響を受ける無線システムの受信機性能によっては影響を緩和できる可能性あり |
| 仮定4 | WPT装置からの不要放射の磁界強度は距離に反比例（遠方界になる場合の距離減衰） | 遠方界ぎりぎりの領域であり、距離rによる磁界強度の距離減衰は1/rよりも大きくなる可能性あり。 | 距離減衰が1/rよりも大きい場合には影響を緩和できる可能性あり |
| 仮定5 | WPT装置からの不要放射方向の特性（指向特性）については、全てのWPT装置からの最大の不要放射方向が合致 | 放射角度方向により10dB程度の変動はある（測定データ提供済）。最大放射方向が重なる確率は少ない。 | 放射方向による磁界強度の変化を考慮して3dB程度緩和できる可能性あり |
| 仮定6 | WPT装置からの不要放射の磁界成分（例えば、x、y、z方向成分）については、全てWPT装置からの最大の磁界成分で合算 | 磁界成分により10dB程度変化する（測定データ提供済）ただし、垂直成分と水平成分の変化は数dB程度。 | （垂直成分と水平成分の変化が小さいので考慮せず） |

10%の確率が1%に

現実的な利用条件での緩和要素を考慮するとアグリゲーションによる不要放射の劣化は無視できる

(補足資料2)

6.78MHz帯電界結合型WPTにおける
他の電子機器との相互干渉に関する検討

BWFF

Broadband Wireless Forum

目次

1. はじめに

2. 他の電子機器との相互干渉に関する検討

3. 標準規格化の中での対策について

(参考) 制御機器、無線機器の作動による漏えい
電磁界の変化の測定について

1. はじめに（本資料の位置づけ）

WPTシステムを利用する際に、受電側装置に搭載される他の電子機器との相互干渉（相互変調など）により不要妨害波が増えるのではという懸念が指摘されている。一方で、相互干渉による不要妨害波発生の物理的な要因については、まだ十分な検討が行われていない。

以上を背景とした検討内容と位置づけは以下の通り。

(1) 産業用ロボット向け6.78MHz帯電界結合型WPTの利用形態を考慮し、他の電子機器との相互干渉の影響についての検討を行った。

- ⇒ WPTシステムのON/OFFとロボット制御部・無線通信部のON/OFF時の漏えい放射妨害波の測定を行った結果、漏えい放射妨害波のレベルに顕著な差は見られなかった。
- ⇒ WPT利用周波数と無線通信の周波数を離す、受電部は充電機に接続する（受電整流器から直接他の電子機器と接続しない）などの配慮（設計）を行うことにより、WPT機器と他の電子機器との相互干渉（相互変調も含む）による不要放射の発生を防ぐことが可能である。

(2) 受電部装置に実装される他の電子機器などとの相互干渉による不要妨害波に発生に対して、更なる安全性を確保するための対策の検討を行った。

- ⇒ 製品規格としての標準規格化（ARIB標準規格化を想定）の中で対策を明記する。

2. 他の電子機器との相互干渉に関する検討とその結果

(1) 受電装置に他の電子機器が搭載されるパターンについて

WPTを利用するロボット機器において、搭載される他の電子機器、通信機器のパターンとして、①仕分け用ロボット、②自動走行ロボット、③軌道走行ロボットのパターンを想定（次スライド参照）

⇒WPT受電部の他に、**ロボット制御部、無線通信部、各種センサ**の搭載を考慮する必要あり

(2) メカニズム

相互干渉（相互変調）が発生するメカニズムとして、以下が想定される。

①送電部（送電電極）からの不要放射と電子機器との相互干渉

②受電部（受電電極と整流部）からの不要放射と電子機器との相互干渉

③受電部からの伝導妨害波による電子機器との相互干渉

⇒不要放射妨害波の測定により影響を評価することは可能。ただし、**受電部からの伝導妨害波については測定方法が課題であり、許容レベルの評価が難しい。**

※作業班での指摘事項「バッテリーへの充電だけではなく、他の電子機器へ直接給電を行う場合の不要妨害波発生」については、以下の構成・動作により影響はないと考えられる。

- ・WPTによる給電はバッテリーに対して行う
- ・他の電子機器への電源供給はバッテリーを介して行う

(3) 測定による検討結果

・個別許可により運用しているWPT搭載ロボットに関して、他の電子機器との相互干渉が問題になったことはない。

・一例としての詳細な測定は実施 ⇒ **特に問題となる不要妨害波の発生は無かった**

(4) 対応策

他の電子機器との相互干渉による不要妨害波の発生が懸念されることに対して、製品規格の中で、不要妨害波に対する安全性を確保する。（「3.標準規格化の中での対策について」参照）

受電部装置に実装される他の電子機器の搭載パターン

WPTを利用するロボット機器において、搭載される他の電子機器、通信機器として、以下のパターンが想定

①仕分用ロボット（A社製）

- ✓ **WPT受電部**
 - ✓ 整流回路、DC-DC、BMS
- ✓ **ロボット制御部**
 - ✓ 運転用マイコン、モータ
- ✓ **無線通信部**
 - ✓ WiFi（2.4GHz帯）
 - ✓ NFC（質問器：13MHz帯）
- ✓ **ペイロード（箱）**
 - ✓ NFC（タグ：箱に装着）

②自律走行ロボット:AMR（一般例）

- ✓ WPT受電部
- ✓ ロボット制御部
- ✓ 無線通信部
- ✓ ペイロード
- ✓ 障害物センサ等

③軌道走行ロボット：AGV（一般例）

- ✓ WPT受電部
- ✓ ロボット制御部
- ✓ 無線通信部
- ✓ ペイロード
- ✓ 障害物センサ等
- ✓ 軌道センサ（磁気センサ等）

WPT受電部との相互干渉が懸念されるロボット制御部、無線通信部については測定を実施
(測定の実施の概要については参考のところに記載)

他の電子機器との相互干渉に関する検討結果のまとめ

WPTシステムのON/OFFとロボット制御部・無線通信部のON/OFF時の漏えい放射妨害波の測定を行った結果、漏えい放射妨害波のレベルに顕著な差は見られなかった。



WPT利用周波数と無線通信の周波数を離す、受電部は充電池に接続する（受電整流器から直接他の電子機器と接続しない）などの配慮（設計）を行うことにより、WPT機器と他の電子機器との相互干渉（相互変調も含む）による不要放射の発生を防ぐことが可能である。

3. 標準規格化の中での対策について

◆ 省令改正の1年後までを目途に、製品規格としての標準化策定

ARIB標準規格T-113の改訂（6.78MHz帯ロボット用電界結合型WPTの編の追加を想定）

◆ 標準規格の内容

製品としてのインターオペラビリティの確保と、利用のための制度上の要件などを含めて規格化を行う。

（標準規格に掲載する内容例）

① システムの概要

WPTシステムの基本構成。送電部、受電部の構成、電極形状・サイズ、電力伝送を確実かつ安全に行うための電力伝送制御機能など。

② システムの技術的条件

省令に基づき、民間規格として律すべき設備の技術的条件を規定。利用周波数、放射妨害波の許容値、人体ばく露量、高周波出力等。

③ 制御方式

受電部の検出や電力伝送状態の監視など安全に電力伝送を行うための制御方式。

④ 測定法

システムの技術条件の規定項目ごとの測定法を規定。

◆ 受電部に搭載される他の電子機器との相互干渉に対する対処方法

相互干渉の問題を回避するため、標準規格の中に以下の点について言及する。

- 基本的には、他の電子機器を搭載する場合、WPT動作時においてもその機器に関連するEMC規格（例えばCISPR-32など）を遵守。
- 相互干渉が発生しないような製品設計を行う。例えば、無線機器とWPT動作周波数をできるだけ離す、他の電子機器の電源は必ずバッテリーから（受電整流器から直接接続しない）など。
- 他の電子機器動作時の不要妨害波の測定を推奨。

～ 仕分用ロボットの測定条件 ～

- ✓ WPT受電部 → 常時ON
 - ✓ 整流回路、DC-DC、BMS
- ✓ ロボット制御部 → ON/OFFで比較
 - ✓ 運転用マイコン、モータ (※1)
- ✓ 無線通信部
 - ✓ WiFi (2.4GHz帯) → ON/OFFで比較 (ロボット制御部と同期してON/OFF)
 - ✓ NFC (質問器：13MHz帯) → OFF (※2)
- ✓ ペイロード (箱) → 搭載せず
 - ✓ NFC (タグ：箱に装着) → 搭載せず

【注記】

※1 モータ (ステッピングモータ) は停止時でも励磁されているため常時ONになります。また、運転用マイコンはシステム全体の制御のため常時ONにする必要があります。

※2 NFCについては、これまでの測定により、ON/OFFによる影響がないことが確認されており、今回は常時OFFとしました。

漏えい電磁界測定系

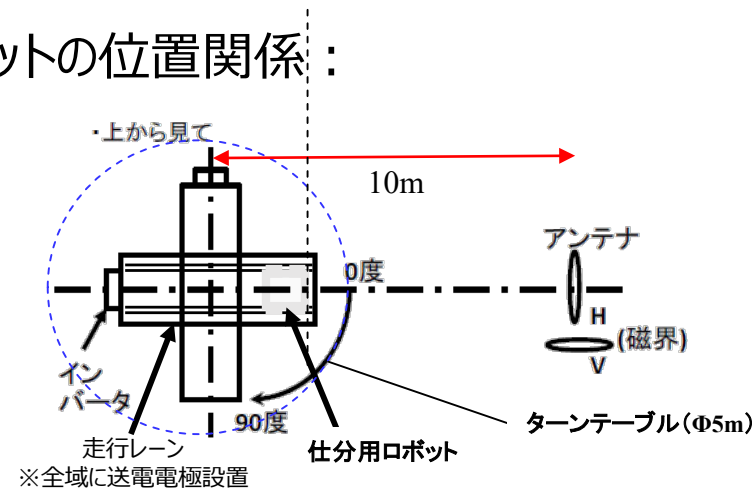
条件詳細（磁界測定の場合）

工場ストアの仕分用ロボットとWPTシステムを電波暗室に配置して測定

主要制御機器：

ロボット制御用マイコン：運転待機状態(ON)、ステッピングモータ：励磁して速度ゼロを指令(ON)、直流安定化電源：ON、WiFi通信ユニット：ON又はOFF

走行レーンとロボットの位置関係：



漏えい電磁界（磁界：～30MHz, 電界：30MHz～1GHz）の測定結果：
制御部・無線通信部ON/OFFによる漏洩電磁界の変動はほぼ無く、いずれの場合にも
許容値を満たしている