

電磁両立性（EMC）に係る 原子力発電所における対応について

周辺ノイズ環境測定結果

2024年12月17日
原子力エネルギー協議会

枠囲みの内容は、商業機密あるいは防護上の観点から公開できません。

1. はじめに
2. 電磁両立性（EMC）について
3. 周辺ノイズ環境測定目的
4. 日常生活環境における電磁波環境（例）
5. 周辺ノイズ環境測定の全体概要
6. 放射ノイズ測定結果-PWR/BWR
7. 伝導ノイズ測定結果-PWR/BWR
8. 周辺ノイズ環境測定結果（まとめ）
9. 今後の予定
10. 新規制基準施行後に導入された設備の影響

【背景】

- 現行の設置許可基準規則※1及び技術基準規則※2では、外的事象やその施設が設置される環境条件において安全施設の安全機能が損なわれないことを要求しており、電磁的事象への対応も含まれているとしている。
- 上記規制並びに規格(JEAC4620)には電磁的事象の対応方法が明確に記載されておらず、試験方法についても適合すべき規格が定義されているわけではない。

※1：設置許可基準規則：第六条、第十二条

※2：技術基準規則：第七条、第十四条、第三十五条(JEAC4620をエンドース)



ATENAは、EMCに関する国際規格であるIEC62003を比較対象とし、今後の国内原子力発電所での電磁的事象への対応について検討を実施し、2023年3月、ポジションペーパー※を発刊。

【現状評価】

- 国内原子力発電所は、電磁的事象に対する設計及び運用面からの対策をとっており、典型的な電磁的事象の影響(Ⅰ 過渡電圧/電流 Ⅱ 無線周波の電磁妨害 Ⅲ 静電気放電 Ⅳ 磁界 Ⅴ 電源変動)によって「原子力発電所の安全機能を損なわない」という目標は現状でも達成できている。
- 国際規格であるIEC62003は、EMC試験の網羅性・統一性を目指して整備されているとの知見を得られたことから、国際規格を参照して国内でのEMC試験の標準化を進めることが、より信頼性の高い設備構築に資する。

【今後の対応】

- 知見拡充を目的に国内プラントメーカー3社のデジタル機器の供試体を製作し、イミュニティ試験を実施（2025年度実施予定）
- 国内環境を踏まえたエミッション試験の要否の見極めるために、周辺ノイズ環境測定を実施（今回報告）
- 上記活動成果を踏まえ、IEC62003の参照方法を含めた活動成果を文書化

2. 電磁両立性 (EMC) について

3

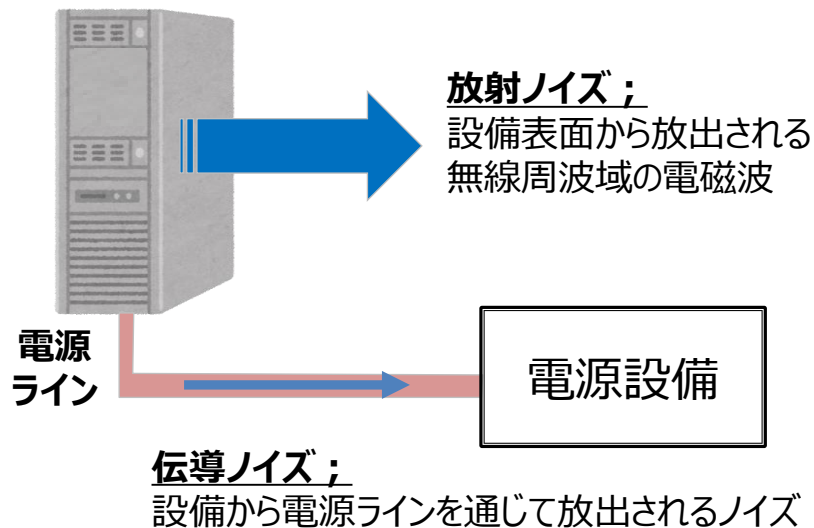
電磁両立性 (EMC: Electro Magnetic Compatibility)

装置又はシステムの存在する環境において、許容できないような電磁妨害をいかなるものに対しても与えず、かつ、その電磁環境において満足に機能するための装置又はシステムの能力
(JIS C 60050-161)

エミッション

ある発生源から電磁エネルギーが放出する現象

無線周波の電磁放出



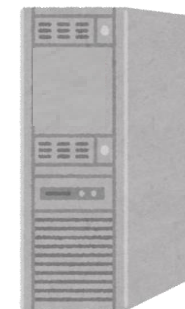
イミュニティ

電磁妨害が存在する環境で、機器、装置またはシステムが性能低下せずに動作することができる能力

電磁妨害(*)



入力ライン
出力ライン
電源ライン
接地線
筐体



(*)電磁妨害

- ①過渡電圧/過渡電流(開閉器サージ、誘導性負荷開閉ノイズ、雷サージ等)
- ②無線周波の電磁妨害、③静電気放電、
- ④磁界(トランス漏れ磁束等)、⑤電源変動

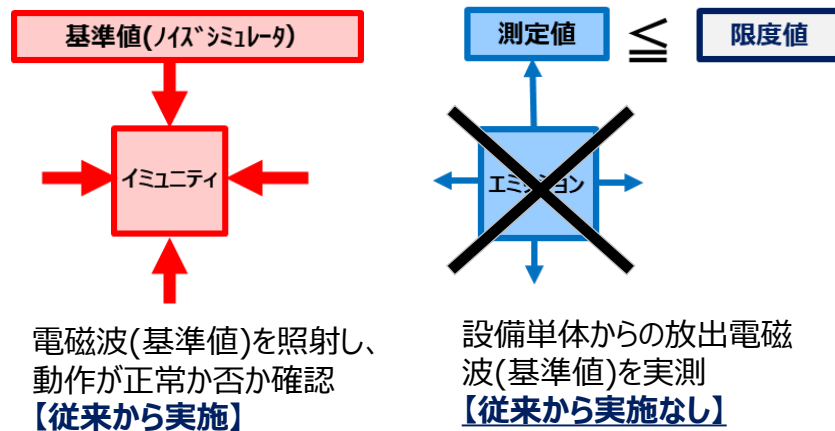
3. 周辺ノイズ環境測定のための目的

※：運用面の配慮と電磁的事象への対策により、
電磁的現象の影響が管理されていること

4

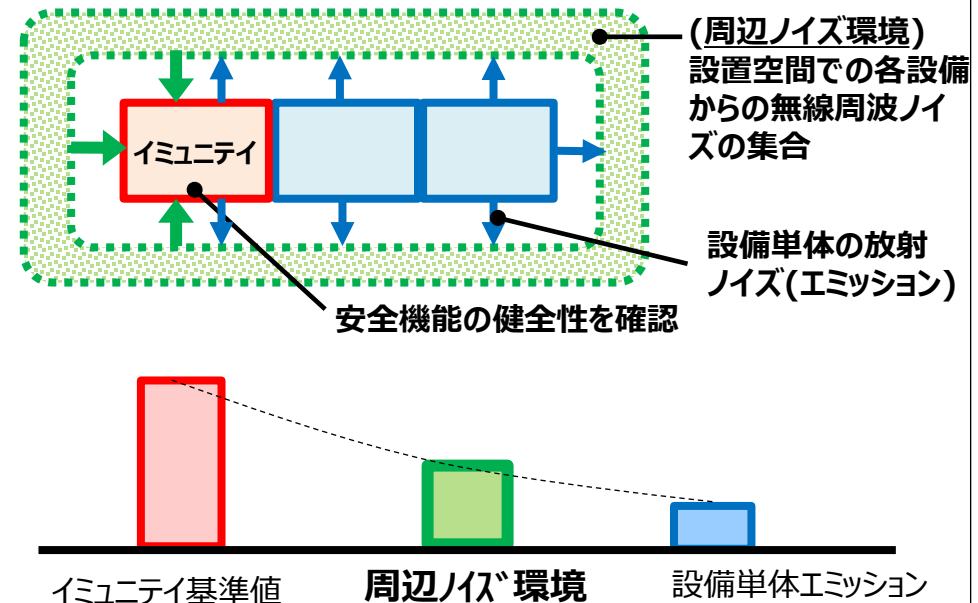
【国内におけるエミッション評価の現状】

- 従来からエミッションに関する試験は実施していない。
- 設備毎にイミュニティ(電磁妨害に対する耐力)の評価・ノイズに関する対策を実施しており、エミッションによる影響が設備の安全動作を阻害する可能性は小さく、エミッションの試験規格への適合が必ずしも必要ないと考えてきた。



【周辺ノイズ環境測定のための現状】

- 国内原子力発電所は一般産業と比較して「クリーンな設置環境」※であると考えられるが、電磁的環境を実際に測定・把握したことはない。
- 現場環境での測定方法に関する規格基準はない。



デジタル安全保護系設備の設置場所での周辺ノイズ環境測定を実施し、まずは実プラント設置場所での電磁環境(ノイズレベル)を把握し、エミッション試験要否の判断材料とする。

4. 日常生活環境における電磁波環境（例）

5

- 日常生活環境で曝される、電磁波環境の電界強度の例を以下に示す。

種 別	電界強度(概略値)※ 1
携帯電話基地局からの電界強度	80 dB μ V/m～ 110 dB μ V/m※ 2
AM放送局からの電界強度	50 dB μ V/m～ 90 dB μ V/m※ 3
FM放送局からの電界強度	50 dB μ V/m～ 80 dB μ V/m※ 3

※ 1 : 受信地点での電界強度レベル

※ 2 : 総務省「携帯電話基地局周辺の電界強度測定等の調査報告書」（2006年）

※ 3 : 総務省「基幹放送局の開設の根本的基準」

（補足）

電界強度の単位として、「V/m」または「dB μ V/m」が一般的に使用される。dB μ V/mは1 μ Vを基準とした対数表示であり、以下式で表される。

$$\text{dB}\mu\text{V/m} = 20 \times \log_{10}(\text{V/m} / 1\mu\text{V/m})$$

（例）10V/mの電界強度は140dB μ V/mとなる。また、20dB μ V/mの差は10倍、40dB μ V/mの差は100倍の強度差となる。

【参考】

設備毎に実施するイミュニティ試験（スライド4 参照）において対象設備に照射される電界強度は、IEC62003の試験条件（基準値）の場合、140dB μ V/m（以下、「IEC62003イミュニティ試験レベル」という。スライド26参照）であり、上記の一般的な電磁波環境と比べると $10^2 \sim 10^4$ 倍の強度となる。

国内環境を踏まえたエミッション試験要否の判断材料として、安全保護系デジタル機器の設置場所周辺のノイズ環境測定を実施した。

1.測定対象プラント

周辺ノイズ環境測定は、PWR／BWRのそれぞれより、安全保護系デジタル機器の各機種を網羅し、かつ最新のデジタル設備を多く導入している以下のプラントを選定した。

- ① PWR：美浜3号機
- ② BWR：柏崎刈羽6号機，柏崎刈羽7号機

2.測定対象ノイズ

周辺ノイズ環境測定として、機器設置場所周辺の放射ノイズを測定した。

なお、知見拡充を図るため、今回の測定機会を活用して電源ラインの伝導ノイズを追加で測定した。

3.実測定方法

測定場所の現場状況に制約（アンテナ設置距離【PWR・BWR】や設置スペース【PWR】を確保できない、活線状態での測定等）があるため、試験規格(IEC62003(IEC61000-6-4))を参考にし、PWR/BWRそれぞれ独自に**プラント設置環境でのノイズレベルを可能な範囲で測定**した(スライド7,8参照)。

4.測定実績

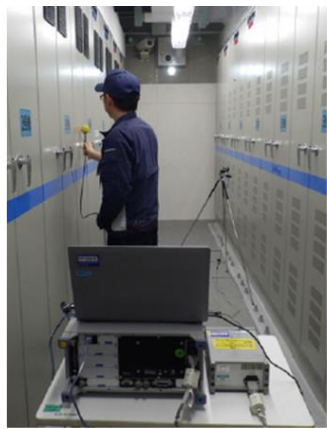
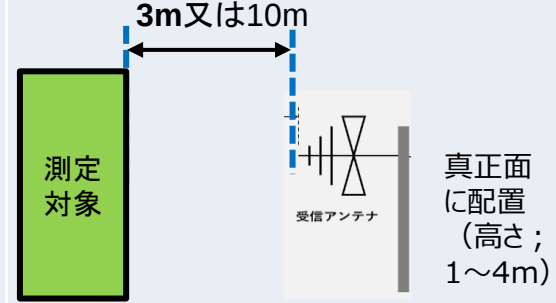
	期間	プラント
PWR	'23/10/30～11/2、11/13	美浜3号機
BWR	'24/2/26～3/1	柏崎刈羽6号機
	'24/4/22～4/26	柏崎刈羽7号機
	'24/5/20～5/24	柏崎刈羽6・7号機

5. 周辺ノイズ環境測定全体の概要（補足：放射ノイズ）

7

- ✓ 周辺ノイズ環境測定の方法に関する規格はないため、設備単体のエミッション測定に関する規格（IEC61000-6-4）を参考にし、実プラントでの制約条件（スペース等）を考慮して測定方法を策定。

表 IEC規格および周辺ノイズ環境測定【放射ノイズ】の測定方法（**太字：IEC規格との相違点（括弧は理由）**）

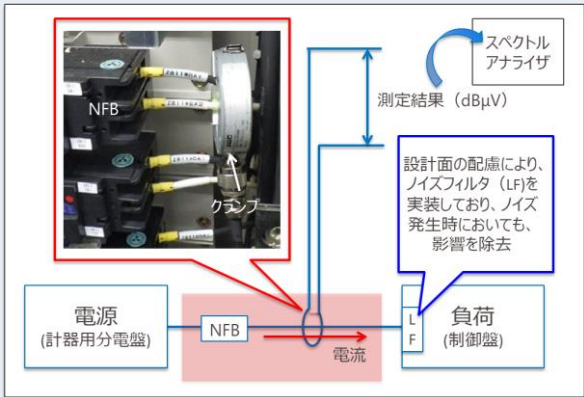
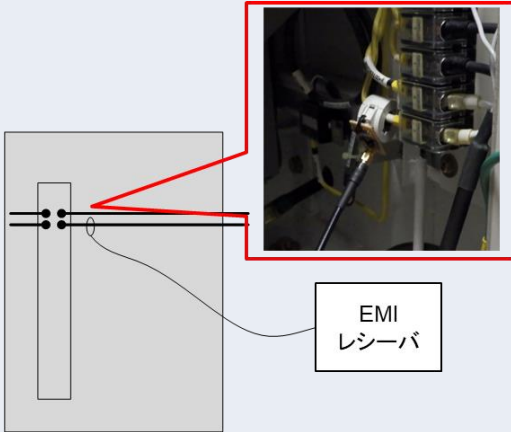
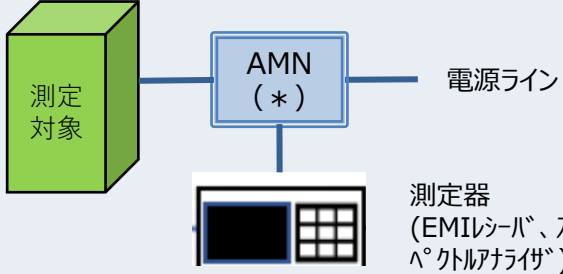
	周辺ノイズ環境測定（放射ノイズ）		【参考】IEC62003 (IEC61000-6-4)
	PWR(スライド17参照)	BWR(スライド18参照)	
測定 イメージ			
測定 場所	リレーラック室 メタクラ室	中央制御室 計測制御電源盤室 他	電波暗室 等 (外来ノイズの影響のない場所)
測定 対象	複数機器設置環境 (プラント停止時も複数機器動作)	複数機器設置環境 (プラント停止時も複数機器動作)	単一機器
測定 機器	プローブ (アンテナ設置場所が確保できない)	アンテナ	アンテナ
測定 条件	①盤表面（プローブを用いた測定） ②30MHz～3GHz（スライド17参照）	①測定対象から1m又は通路中央を目途とした 設置可能な距離（測定距離が確保できない） ②周波数範囲：2 MHz ～ 6 GHz	①測定対象から3m又は10m ②周波数範囲：80 MHz ～ 6 GHz（最高内部 周波数により測定範囲は異なる。スライド26参照）

5. 周辺ノイズ環境測定 of 全体概要 (補足 : 伝導ノイズ)

8

- ✓ 周辺ノイズ環境測定の方法に関する規格はないため、設備単体のエミッション測定に関する規格 (IEC61000-6-4)を参考にし、実プラントでの制約条件(活線状態等)を考慮して測定方法を策定。

表 IEC規格および周辺ノイズ環境測定【伝導ノイズ】の測定方法 (**太字 : IEC規格との相違点 (括弧は理由)**)

	周辺ノイズ環境測定 (伝導ノイズ)		【参考】IEC62003 (IEC61000-6-4)
	PWR(スライド19参照)	BWR(スライド20参照)	
測定 イメージ	 測定結果 (dBμV) スペクトルアナライザ 設計面の配慮により、ノイズフィルタ (Lf) を実装しており、ノイズ発生時においても、影響を除去 電源 (計器用分電盤) NFB 電流 負荷 (制御盤) クランプ	 EMIレシーバ	 測定対象 AMN (*) 電源ライン 測定器 (EMIレシーバ、スペクトルアナライザ)
測定 場所	インバータ室	中央制御室 計測制御電源盤室 他	電波暗室 等 (外来ノイズの影響のない場所)
測定 箇所	電源ライン	電源ライン (1相ずつ測定)	電源ライン
測定 機器	クランプ+スペクトルアナライザ (プラント停止時も動作中であり、 解線してAMNを接続できない)	クランプ+EMIレシーバ (プラント停止時も動作中であり、 解線してAMNを接続できない)	AMN+測定器 (EMIレシーバ、スペクトルアナライザ)
測定 条件	周波数範囲 : 30 MHz ~ 500 MHz (測定機器による制約)	周波数範囲 : 150kHz ~ 30MHz	周波数範囲 : 150kHz ~ 30MHz

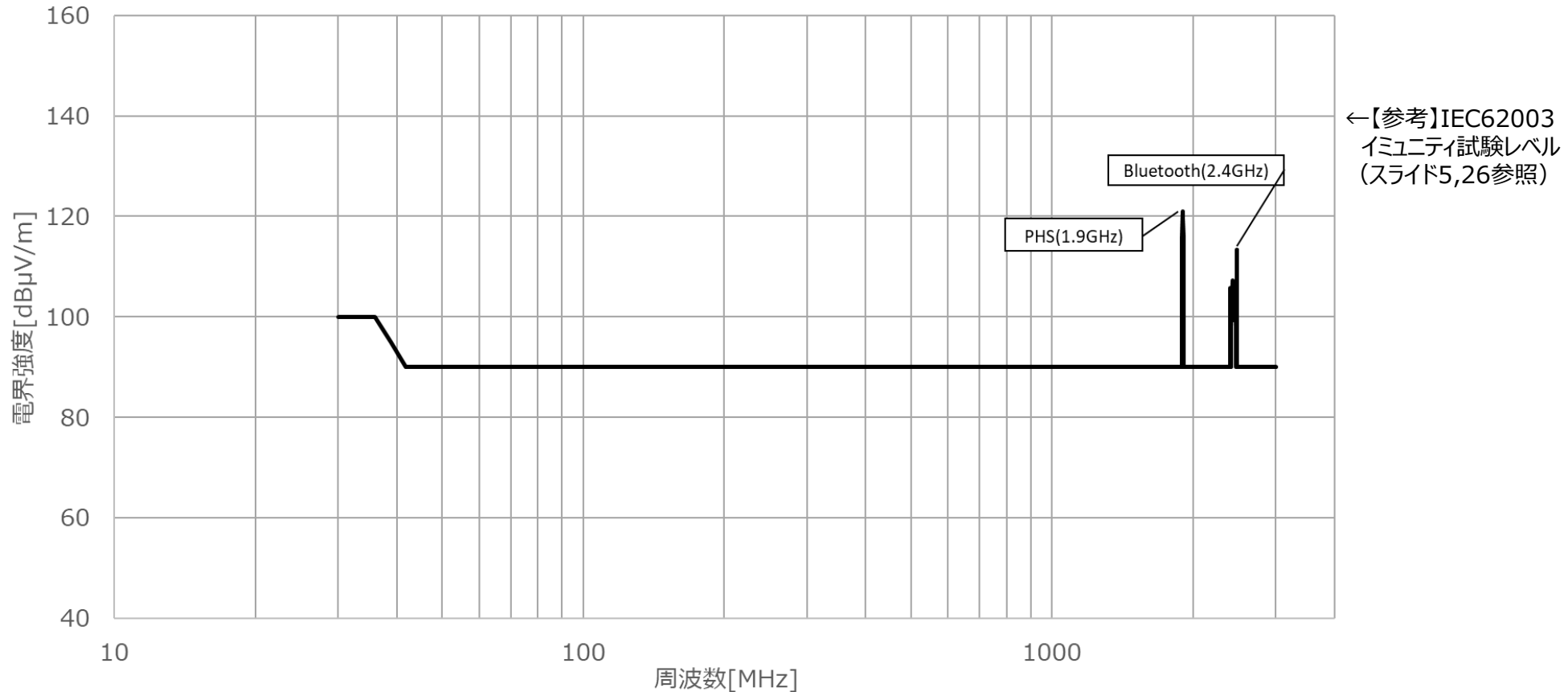
(*)AMN ; 疑似電源回路網

- ①測定対象から見た電源ラインのインピーダンスを一定し、
- ②電源ラインから測定対象に流入するノイズを抑制し、
- ③測定対象にて発生したノイズを測定器に出力する。

6. 放射ノイズ測定結果-PWR

9

測定結果は、全ての実測値の最大値を包絡するよう図示（実測値はスライド21参照）

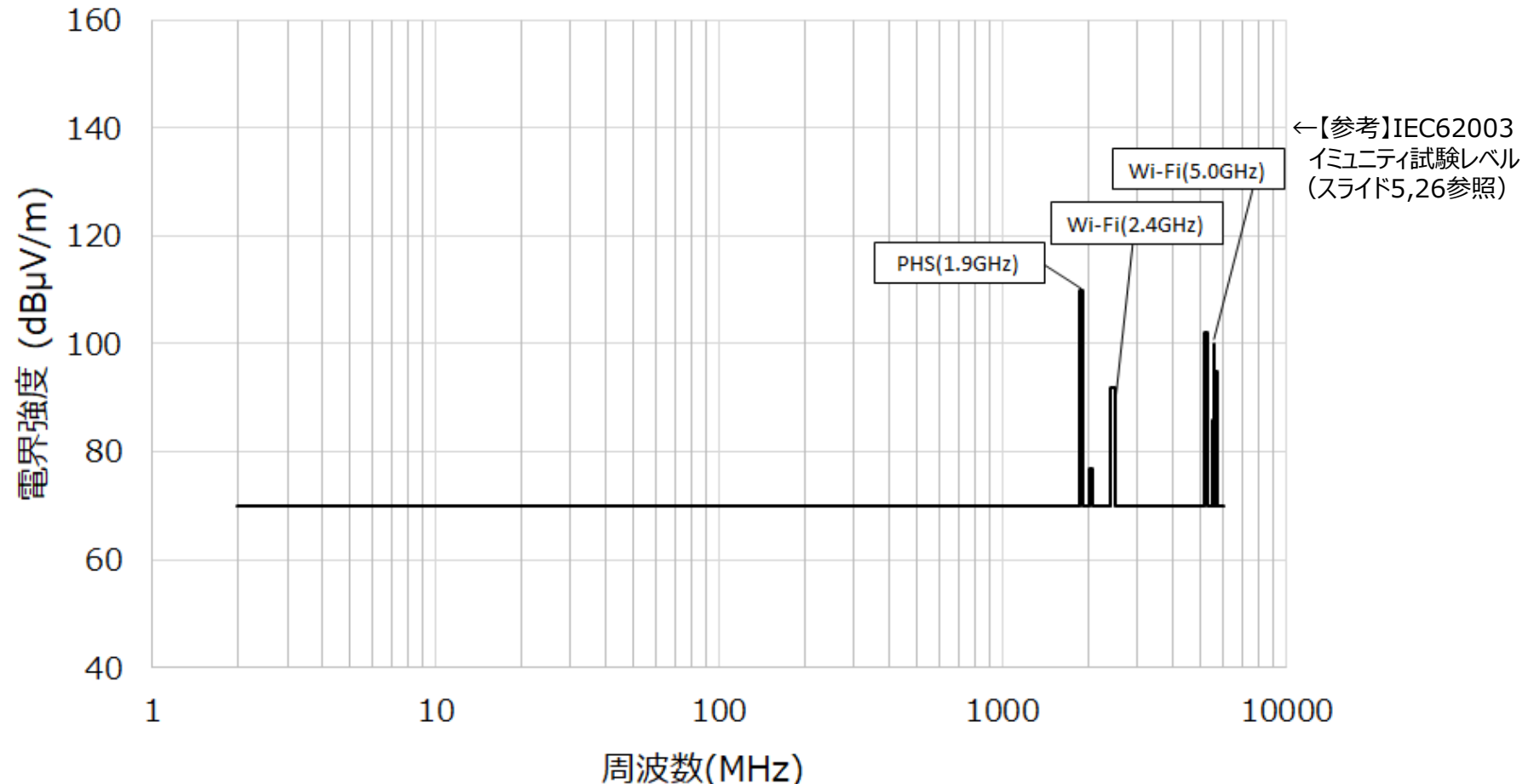


- 発生源の明確な無線通信機器(PHS等)によるピークノイズを除くと、**特異なノイズは測定されなかった**
- 測定場所によって電界強度、周波数特性に大きな差異はない
- **制御盤表面における電界強度**は、無線通信機器の周波数帯を除くと**最大で100dBμV/m程度**

6. 放射ノイズ測定結果-BWR

10

測定結果は、全ての実測値の最大値を包絡するよう図示（実測値はスライド22参照）

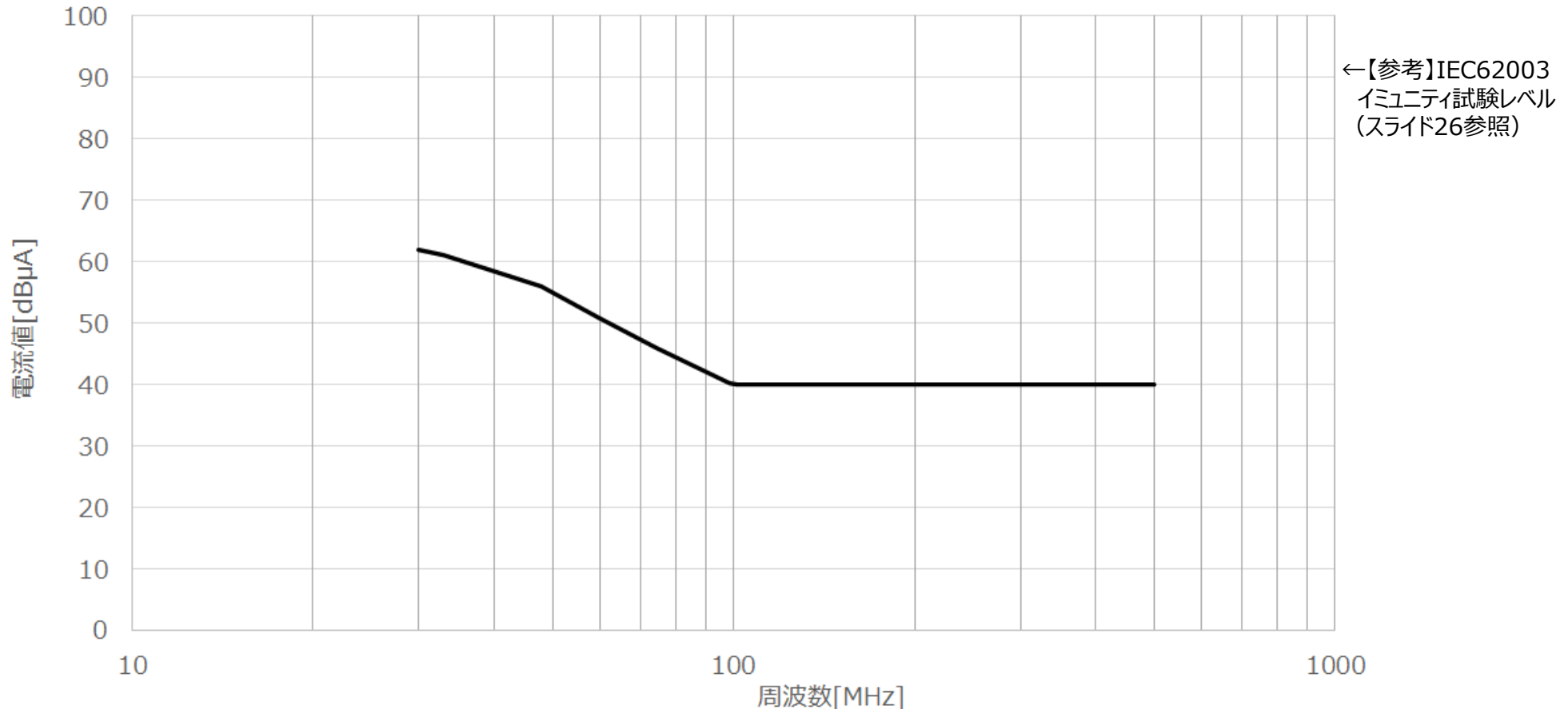


- 発生源の明確な無線通信機器(PHS、Wi-Fi等)によるピークノイズを除くと、**特異なノイズは測定されなかった**
- 測定場所によって電界強度、周波数特性に大きな差異はない。
- **制御盤設置エリアの電界強度**は、機器動作・無線通信機器の周波数帯を除くと**最大で70dBμV/m**

7. 伝導ノイズ測定結果-PWR

11

測定結果は、全ての実測値の最大値を包絡するよう図示（実測値はスライド23参照）

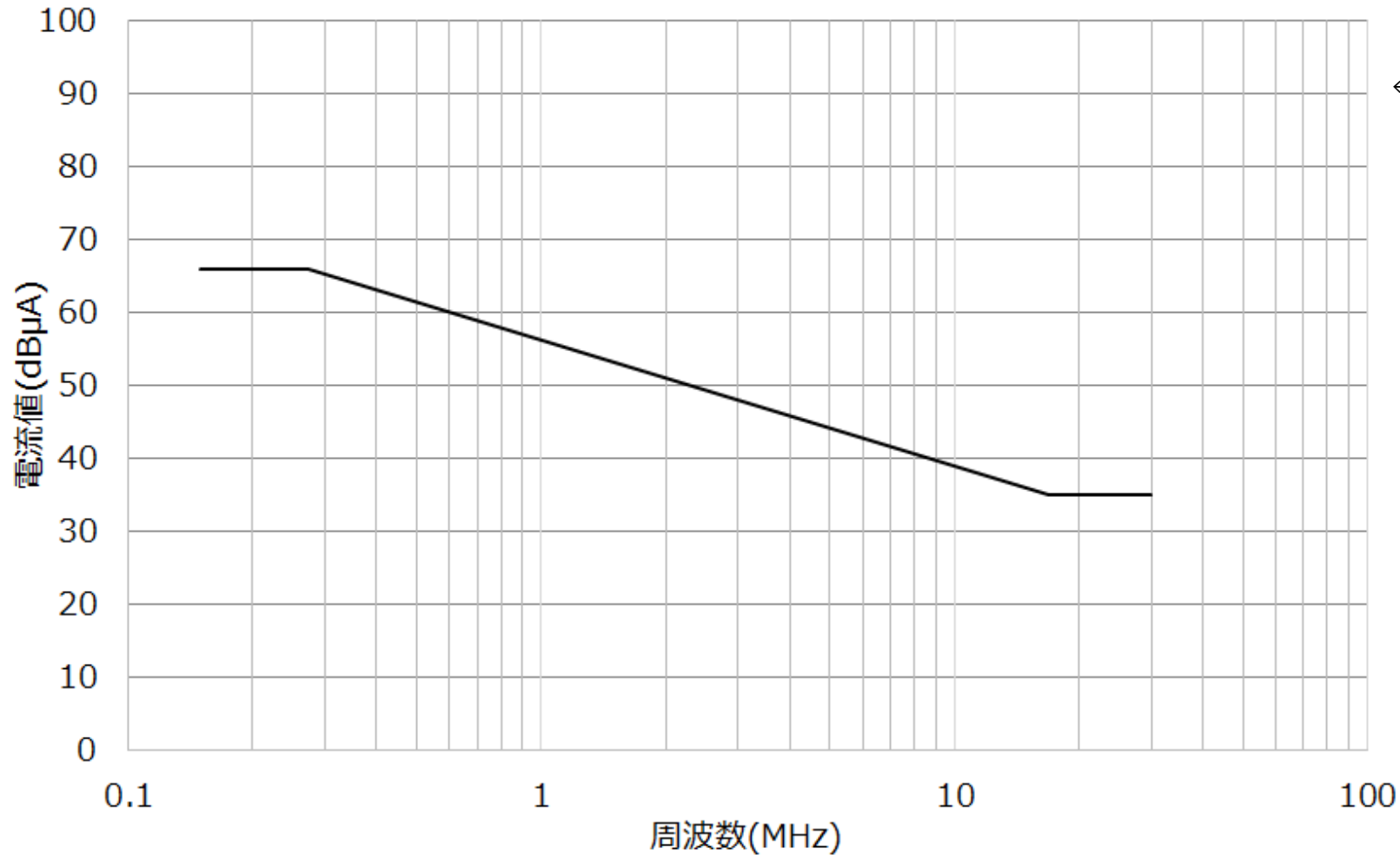


- 測定周波数帯での測定結果は**70dBμA以下**
- 周波数が低くなるにつれてノイズレベルが高くなる傾向を示したが、**有意なピークノイズは測定されなかった**

7. 伝導ノイズ測定結果-BWR

12

測定結果は、全ての実測値の最大値を包絡するよう図示（実測値はスライド24参照）



←【参考】IEC62003
イミュニティ試験レベル
(スライド26参照)

- 測定周波数帯での測定結果は**70dBμA以下**
- 周波数が低くなるにつれてノイズレベルが高くなる傾向を示したが、**有意なピークノイズは測定されなかった**

1. 今回の周辺ノイズ環境測定により、安全保護系デジタル設備設置場所における電磁的環境のノイズレベルを実測・把握できた。
2. 測定された放射ノイズの電界強度は、無線通信機器等によるものなどを考慮しても120dB μ V/mを超えておらず、発信源の明確な無線通信機器を除いて、特異なノイズ源も測定されなかった。伝導ノイズの測定結果も70dB μ Aを超えておらず、有意なピークノイズも測定されなかった
3. 今回の周辺ノイズ環境測定結果は、一般的な電磁波環境（スライド4参照）と大差ないレベルとなっている。なお、参考で示したIEC62003イミューニティ試験レベル(放射：140dB μ V/m、伝導：90.5dB μ A(電流換算値))を十分下回る(1/100~1/1,000)レベルである。
4. また、今回の周辺ノイズ環境測定結果は、測定対象の制御盤から放出される電界強度だけでなく、周辺の盤や機器から放出される電界強度も重畳した可能性がある。
⇒供試体を使用したイミューニティ試験の機会を活用し、IEC62003試験規格に基づく供試体を使用したエミッション試験を実施することで、設備単体レベルでの放射ノイズを把握する。

【現状：ATENALレポート「7.活動計画」のスケジュールより抜粋】

作業項目	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度～
周辺ノイズ環境測定	検討・整理			▽ATENALレポート	
	計画	周辺ノイズ環境測定	評価／方針検討		
供試体による イムニティ試験	検討・整理	▽ATENALレポート			▽ATENALレポート
	計画	供試体設計	試験機材調達	試験・評価	
				方針検討	

【見直しスケジュール案（赤字が見直し箇所）】

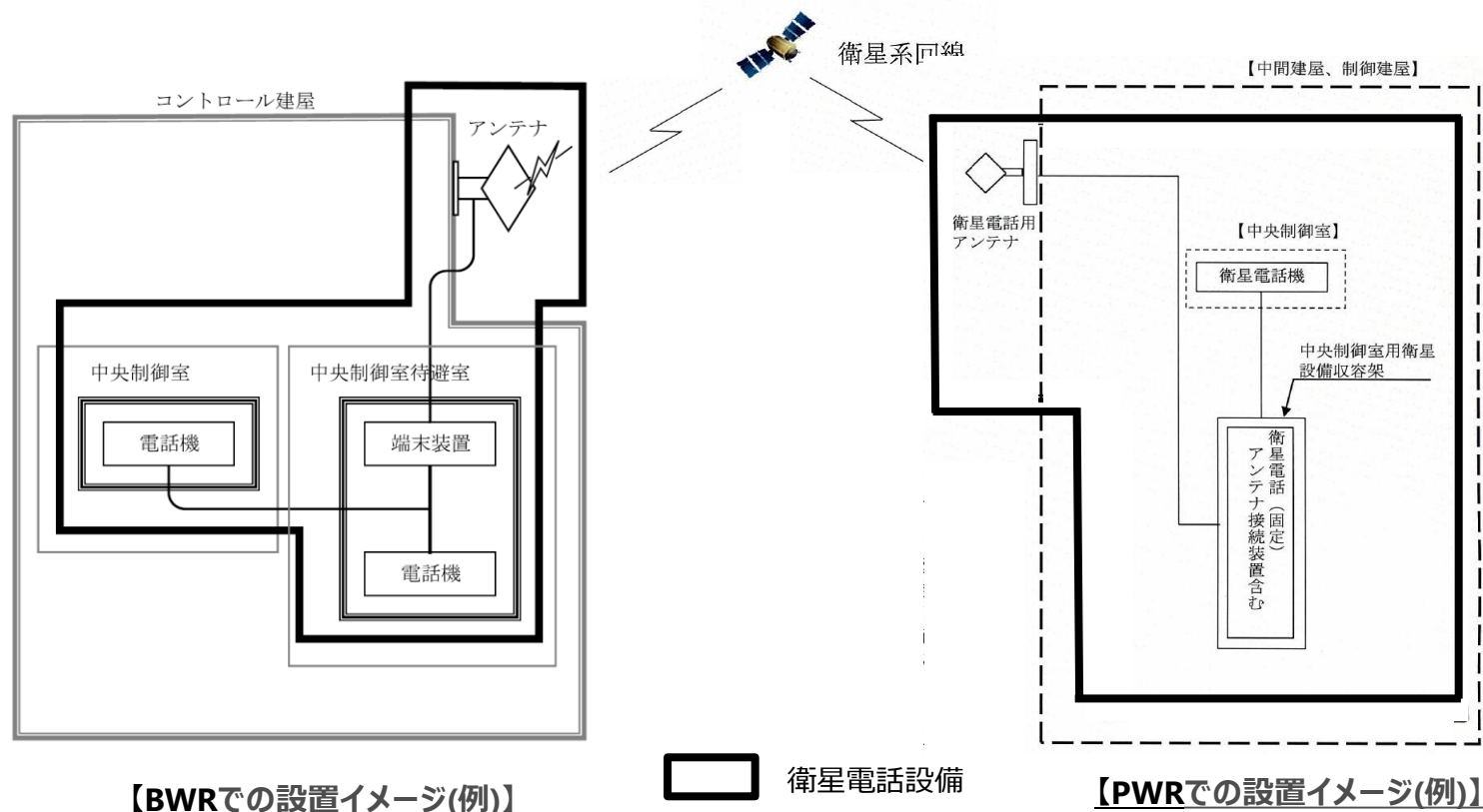
作業項目	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度～
周辺ノイズ環境測定	検討・整理				
	計画	周辺ノイズ環境測定	評価		
供試体による イムニティ試験 及び エミッション試験 追加実施	検討・整理	▽ATENALレポート		▽ATENALレポート 改訂・追補(①)	▽ATENALレポート (④)
	計画	供試体設計	試験機材調達(②)	試験・評価(③) (イムニティ&エミッション)	
				方針検討(④)(イムニティ&エミッション)	

- ① 周辺ノイズ環境測定結果並びに供試体エミッション試験追加について、**2023年3月発行のATENALレポート（ポジションペーパー）を改訂・追補してまとめる。**
- ② 半導体不足による供試体の調達遅延に伴い、工程を見直す。
- ③ 供試体を使用したIEC62003試験規格に基づくイムニティ試験及びエミッション試験を実施・評価する。
- ④ 上記結果をもとに、イムニティ試験結果及びエミッション試験に対する方針検討を実施し、IEC62003の参照方法を含めATENALレポートに活動成果をまとめる。あわせて、関連する協会への規格化の提言についても検討する。

10. 新規制基準施行後に導入された設備の影響

15

- 新規制基準施行後に導入された設備として衛星電話、無線連絡設備(トランシーバ)があるが、電磁波を発する**アンテナ機器は建屋外に設置**されている。(下図参照)
- 周辺ノイズ環境測定結果からも、**衛星電話等に起因するノイズは測定されていない**。
- 従って、安全保護系デジタル機器の設置環境に対する、**新規制基準施行後に導入された設備の電磁的影響は問題ない**と考えられる。



(参 考)

- ✓ 現場の配置状況(※1)を踏まえ、以下の試験機材を用いて安全保護系デジタル機器の**制御盤表面の電界強度とその周波数特性を測定**し、制御盤が曝されている電磁ノイズを測定する。

- ① 空間電磁界可視化システムを起動する。
- ② 測定者が測定プローブを手に持ち、プローブを盤表面に接触させながら、測定対象領域全面を走査させて、盤表面の電界強度と周波数特性を測定する。

カメラでプローブの
追従画像を取得

プローブはスペアナに接続し、測
定対象盤の盤表面の電界強度、
周波数特性を測定 (※2)



プローブを追従した画像に測
定された電界強度(ピーク値)
を重ね合わせて表示・記録

測定作業イメージ



※1：現場は、複数の制御盤が設置されており、測定対象盤の周囲スペースの制約から、IEC規格のエミッション試験測定用のアンテナを設置するスペースが確保できない。

※2：測定範囲は30MHz～3GHz

(測定対象機器に使用している素子の最高周波数が500MHz以下であるため、IEC61000-6-4 Table2に記載の30MHz～2GHzを包絡する範囲として上記測定範囲とした)

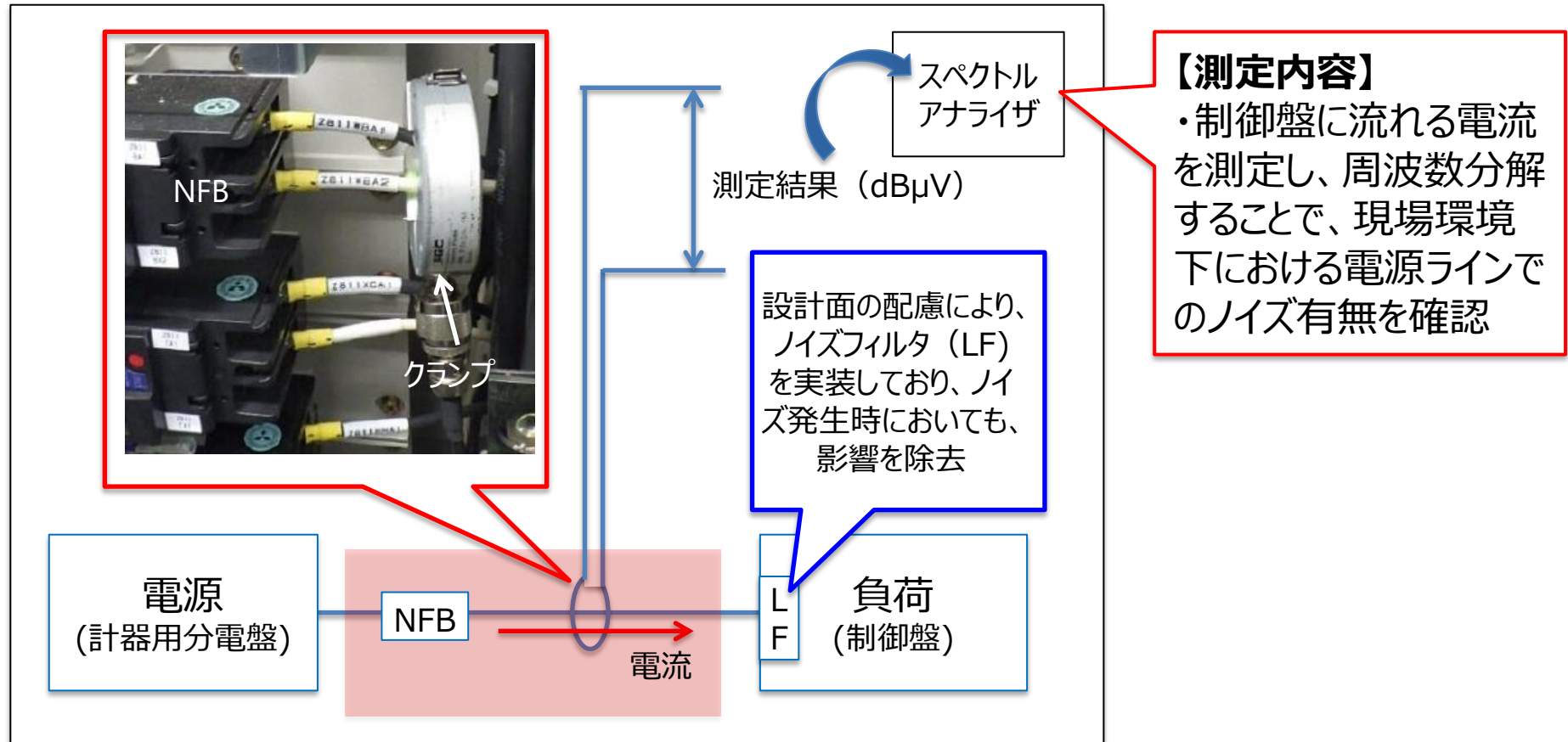
(参考 1) 放射ノイズの測定 (BWRの場合)

18

- ✓ 測定対象より1m地点、高さ1.2mで電界強度を測定
(1mを確保できない場合は、原則として通路中央で測定)
- ✓ 使用するアンテナは下記の4種類

アンテナ	設置状況	アンテナ	設置状況
ロッド [2MHz-30MHz]		ログペリオディック [300MHz-1GHz]	
バイコニカル [30MHz-300MHz]		ダブルリッジホーン [1GHz-6GHz]	

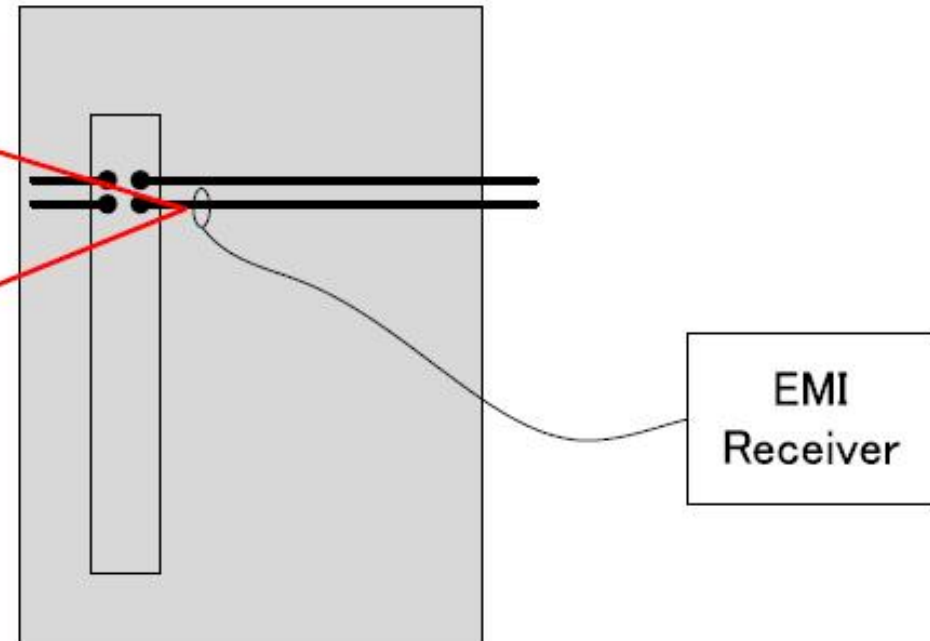
- ✓ クランプ、スペクトルアナライザを使用して30MHz-500MHzの伝導ノイズを測定
(空間電磁界可視化システムの測定系を利用した簡易測定)



※電源ラインの隔離等が実施不可のため、
クランプによる測定結果から相対的な評価を実施

(参考 2) 伝導ノイズの測定 (BWRの場合)

- ✓ クランプ、EMIレシーバを用いて150kHz-30MHzの伝導ノイズを測定



解線しての作業ができないため、
クランプを使用した測定を実施

(参考3) 放射ノイズ実測値【例：PWR】

21

枠囲みの内容は、商業機密あるいは防護上の観点から公開できません。



枠囲みの内容は、商業機密あるいは防護上の観点から公開できません。

(参考4) 伝導ノイズ実測値【例：PWR】

23

枠囲みの内容は、商業機密あるいは防護上の観点から公開できません。

(参考4) 伝導ノイズ実測値【例：BWR】

24

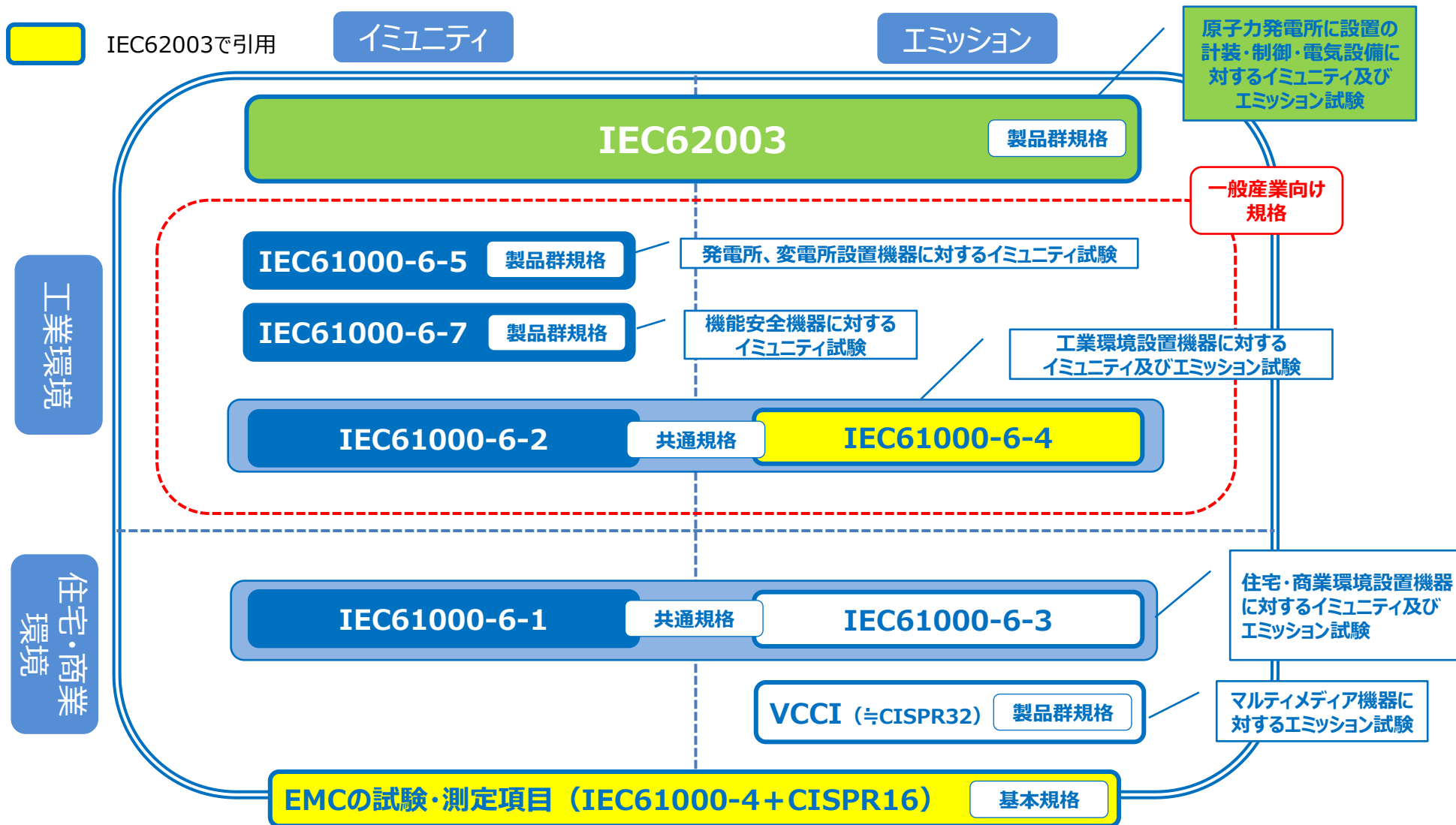


枠囲みの内容は、商業機密あるいは防護上の観点から公開できません。

(参考5) 一般産業の電子機器として求められる水準との比較

25

- IEC62003は一般産業向け規格と同じ適用領域をカバーしている。



(参考 6) IEC 62003 エミッション限度値／イミュニティ試験レベル

26

IEC61000	項 目	エミッション限度値／イミュニティ試験レベル
4-3	放射無線周波電磁界に対するイミュニティ試験	周波数範囲：80 MHz ～ 6GHz 試験レベル：Level 3, 試験電圧：10V/m※ ¹ (※ 1：スライド9,10,21,22に示した試験レベルは、電界強度換算【140dBμV/m】)
4-6	無線周波電磁界によって誘導する伝導妨害に対するイミュニティ試験	周波数範囲：150 kHz ～ 80 MHz 試験レベル：Level 3, 試験電圧：140 dBμV※ ² (※ 2：スライド11,12,23,24に示した試験レベルは、電流換算値【90.5dBμA】)
6-4	工業環境における放射	<放射性放出> 周波数範囲：30 MHz ～ 6 GHz (測定対象機器の最高内部周波数が500MHzの場合、最高測定周波数は2GHz) 限度値： 40dBμV/m@30 MHz～230 MHz (at 10m, quasi-peak) 47dBμV/m@230 MHz～1 GHz (at 10m, quasi-peak) 76dBμV/m@1 GHz～3 GHz (at 3m, peak) 56dBμV/m@1 GHz～3 GHz (at 3m, average) 80dBμV/m@3 GHz～6 GHz (at 3m peak) 60dBμV/m@3 GHz～6 GHz (at 3m, average) <伝導性放出> 周波数範囲：150 kHz ～ 30 MHz 限度値： ・低電圧 AC 79dBμV@150 kHz～500 kHz (quasi-peak) 66dBμV@150 kHz～500 kHz (average) 73dBμV@500 kHz～30 MHz (quasi-peak) 60dBμV@500 kHz～30 MHz (average) ・低電圧 DC 89dBμV@150 kHz～500 kHz (quasi-peak) 76dBμV@150 kHz～500 kHz (average) 83dBμV@500 kHz～30 MHz (quasi-peak) 70dBμV@500 kHz～30 MHz (average)

用 語	説 明
電磁的事象	想定される電源じょう乱や電磁波等の外部からの外乱・ノイズ
電磁妨害	機器／装置又はシステムの性能を低下させる可能性があり、又は生物／無生物にかかわらず全てのものに悪影響を及ぼす可能性がある電磁現象
エミッション	ある発生源から電磁エネルギーが放出する現象
イミュニティ	電磁妨害が存在する環境で、機器、装置またはシステムが性能低下せずに動作することができる能力
放射ノイズ	設備表面から放出される無線周波域の電磁波
伝導ノイズ	設備から電源ラインを通じて放出されるノイズ
ノイズ	電気・電子機器、接点やブラシを有する機器が発生源である不要なエネルギー
サージ	雷やスイッチング等に起因する過渡的な高電圧ノイズ
静電気放電	人体や物質が持つ微小な浮遊容量に蓄えられた電荷が周囲の物体に放電する現象（サージの 1 種）
電源変動	AC電源の電源変動、瞬低、高調波、周波数変動、DC電源のリップル、電圧低下／瞬断
電波暗室	外部からの電磁波の影響を受けず、外部にも電磁波を漏らさない様な金属板の部屋に、電磁波が内部で反射しない様に電波吸収体を張り付けた実験・試験設備
IEC	国際電気標準会議（The International Electrotechnical Commission）の略
AMN	疑似電源回路網（Artificial Mains Network）の略