

太陽光発電システムの EMC 対策方法事例

Case Studies for EMC countermeasure of Photovoltaic power generation system

山根 宏*

1. はじめに

エネルギー消費が大幅に増大する一方、温暖化ガスの削減に関する各種施策が講じられてきた。このような状況下で太陽光発電は重要な技術として注目され、2009 年からは住宅向けの導入補助が開始されるとともに、余剰電力の固定価格買取制度が導入された。さらに、2012 年 7 月から再生可能エネルギーの全量買取制度が導入され、太陽光発電システムは工場やオフィス、住宅への構築が促進されてきた。

一方、情報通信機器や各種設備のインバータ、LED 照明等から発生する不要電波が、AM 放送や重要無線通信への混信等の一つの要因となっている。家電製品等から放射される不要電波について、電波法では高周波利用設備として規制を設けており、電子レンジ、電磁誘導加熱式 (IH) 調理器等が対象となっている。

LED 照明およびインバータが組み込まれた電気機器など他の無線通信に影響を与える恐れがある設備等については、国際無線障害特別委員会 (CISPR) 規格との整合性等を図りながら、順次、具体的な規制の対象として検討されている。

また、国内外においてスマートグリッド (次世代

送電網)、HEMS (ホーム・エネルギー・マネジメント・システム) 等のエネルギー管理システムの導入ニーズが急速に高まっているが、これらには太陽光発電用系統連系電力変換装置 (GCPC: Grid Connected Power Converters) をはじめ、大電力のインバータ等が含まれる場合が多く、不要電波の発射源となる恐れがある。

GCPC 等からの不要電波の抑制については、すでに CISPR においても重要な課題として取り上げられており、今後のエネルギー管理システム等の普及や国際動向を見据えつつ、他の無線通信への影響を抑制するため、具体的な規制の対象として検討されてきた。

そこで本稿では、太陽光発電システム用パワーコンディショナ (PCS: Power Conditioning System) からの電磁妨害波に関して、課題、問題点や規格化の動向、対策方法等について述べる。

2. 太陽光発電システムの EMC 的課題と規制動向

本章では、太陽光発電システムの EMC 的課題と規制動向について述べる。

2.1 太陽光発電システムの電磁妨害波課題

住宅用太陽光発電システムは、図 1 に示すように屋根に設置された太陽電池モジュール、電気エネルギーを直流 (DC) から交流 (AC) へ変換するインバータ機能と太陽電池モジュールの最大出力を追従する機能を持つ PCS、家庭内配線と接続する分電盤、交流側に設置された売電用の電力量計などで構成されている。

PCS の主要構成要素であるインバータは、スイッチング動作により DC-AC 変換するため、スイッチ

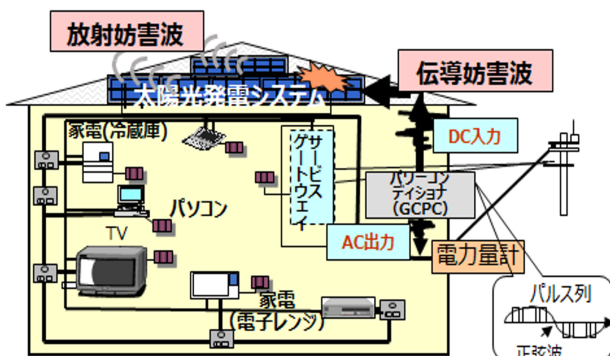


図 1 住宅用太陽光発電システムの構成例

*NTT アノードエナジー株式会社 技術戦略部

ングノイズが発生する。そのノイズが太陽電池モジュール側に伝導し、太陽電池がアンテナとして作用することにより電磁妨害波を放射し、周囲の電気・電子機器に影響を与える可能性がある。また、配電線に接続される AC 側出力端子に発生する電源ノイズは、電源線伝導妨害波として周囲の機器に影響を及ぼす可能性がある。

当時（2012 年頃）、住宅用太陽発電システムの電磁環境性評価を NEDO（新エネルギー・産業技術総合研究機構）の評価の一環として、依頼を受けた JET（一般財団法人 電気安全環境研究所）が行った調査結果によると、図 2 に示すように、伝導妨害波のエミッションレベルは JET 規格と照会すると約半数が限度値（又は、許容値）を超過しており、放射妨害波のエミッションレベルは全ての機種で限度値を超過していた。これらのことから、問題が多いことが判明した。

しかし、製品規格としての太陽光発電システムを対象とした電磁妨害波に関する CISPR 規格は、当時は存在していなかったため、工業・科学機器の製

品群規格である CISPR11 Ed.5.1 を適用していた。そこで、図 3 に示すように、太陽光発電システムの EMC 規格を作成する専門委員会が発足した。

EMC の分野では、国際電気標準化委員会規格（IEC）とその特別委員会である CISPR 規格が基本となっている。CISPR においては、製品群ごとに小委員会が組織されており、情報通信装置では SC-I で測定法や規格値を決定している。また、工業・科学機器に関しては SC-B で議論されており、太陽光発電システムに関する機器においては、この SC-B で測定法や許容値が議論された。

系統連系電力変換装置において、図 4 に示すように、交流端子伝導妨害波および放射妨害波に関する測定方法は CISPR 16-1-2 に、限度値は CISPR 11 Ed. 5.1 に規定されている。一方、直流端子伝導妨害波に関しては、限度値が規定されていないので、これらを規定することが必要であった。

2.2 パワーコンディショナの規制状況（2012 年頃）

国内の産業会規格および国際標準化機関である CISPR 11 の AC 側、DC 側妨害波電圧の規制状況を表 1 に、その許容値を図 5、6 に示している^{1), 2)}。

図 5 から、国内では他の電気機器等に及ぼす可能性があるため、いち早く産業会規格として運用している。また、海外への展開を考慮すると国際標準化規格を満足するようにすべきであるが、当時は国内販売を優先して PCS を製品化していた。電源端子妨害波の規格値に関しては、国内において、出力 20kW 以下は AC 側、DC 側とも存在するが、放射妨害波の規格値に関しては、存在していない。一方、CISPR11 においては、Class A、Class B 地域に応じた電源端子妨害波電圧の適用規格は存在するが、DC 側においては検討中であった。2015 年に CISPR 11 Ed.6.0³⁾ により策定された。

図 5、図 6 により、20kVA 以下の GCPC の伝導妨害波許容値に関して、AC 出力側においては、JIS

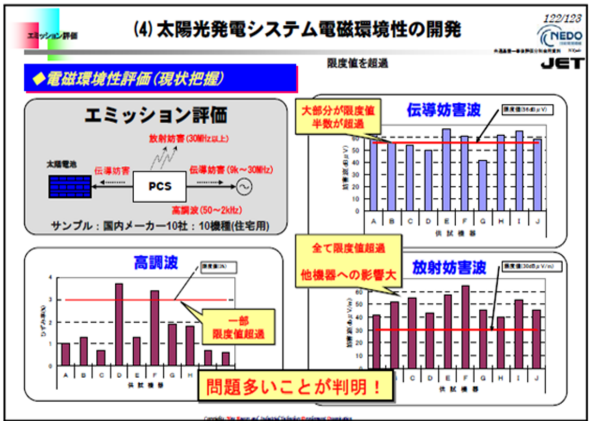


図 2 太陽光発電システムの電磁環境性評価結果

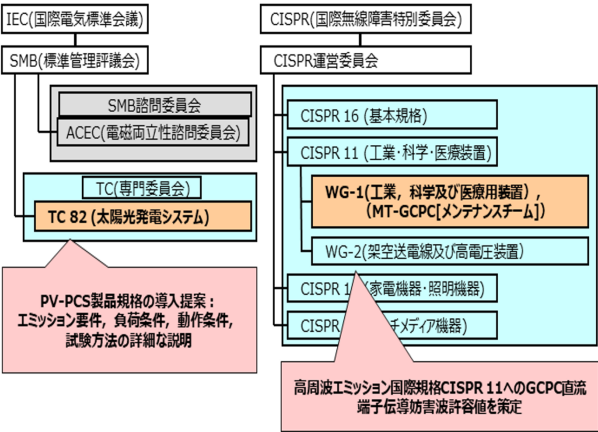


図 3 太陽光発電システムの PCS の規格化組織体制

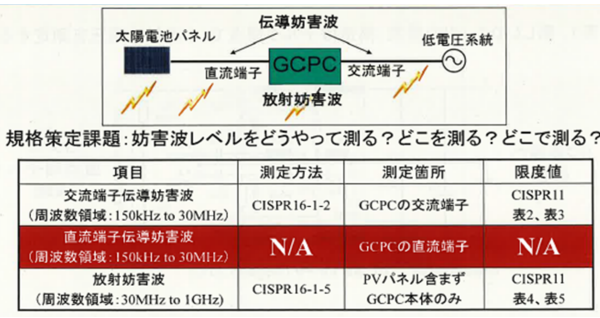


図 4 PV システムにおける GCPC の規格化内容概念図

C8980 では 10kW 超～ 20kW 未満の限度値は 83dB μ V/m, 10kW 未満では 73dB μ V/m で, JET 規格では独自規格を適用している. DC 出力側の適用規格値においては, 負荷に応じた許容値を適用し

ている.

20kVA 以上の GCPC の伝導妨害波許容値に関しては, CISPR11 の改訂とともに, AC 出力側許容値, DC 出力側許容値を見直すことが予定されており,

表 1 PCS の規制状況 (2012 年頃及び CISPR11 Ed.6.0 (2015.6))

地域・国	規制	規格名	対象機器	電源端子妨害波電圧		放射電界強度適用規格
				AC側	DC側	
				適用規格	適用規格	
日本 1	JET 認証	JETGR002-1-39	出力10kW未満	①CISPR14-1 QP限度値を引用 ②伝導障害試験 5kHz～10kHz帯の独自規制	①CISPR14-1 負荷端子のQP限度値を引用 (平均値なし)	なし
日本 2		JIS C 8980	出力10kW以下 州力10kWを超え、20kW未満	526.5k～30MHz 73dB μ V以下 526.5k～30MHz 83dB μ V以下	526.5k～30MHz 73dB μ V以下 526.5k～30MHz 83dB μ V以下	なし
国際規格		IEC CISPR 11	・kWの制限なし ・2014年を目途に CISPR11へ盛り込む計画	CISPR11 Class A ①入力電力: 20kVA以下 ⇒Class A ②入力電力: 20kVA～75kVA ⇒Class Aの緩和限度値 ③入力電力: 75kVA以上 グループ2 Class Aの限度値	①入力電力20kVA以下 限度値案の段階 ②入力電力20kVAを超える電力 ⇒未定	CISPR11 Class A ①入力電力: 20kVA以下 ⇒Class A ②入力電力: 20kVA～75kVA ⇒Class Aの緩和限度値 ③入力電力: 75kVA以上 グループ2 Class Aの限度値
		IEC CISPR11 Ed.6.0	・2015年にCISPR11 Ed.6.0に盛り込まれた	CISPR11 Class A ①入力電力: 20kVA以下 ⇒Class A ②入力電力: 20kVA～75kVA ⇒Class Aの緩和限度値 ③入力電力: 75kVA以上 グループ2 Class Aの限度値	CISPR11 Class A ①入力電力: 20kVA以下 ⇒66～56dB μ V(0.15～0.5MHz) 56dB μ V(0.5～5MHz) 60dB μ V(5～30MHz) ②入力電力: 20kVA～75kVA ⇒100dB μ V(0.15～0.5MHz) 86dB μ V(0.5～5MHz) 90～73dB μ V(5～30MHz) ③入力電力: 75kVA以上 グループ2 Class Aの限度値 ⇒130dB μ V(0.15～0.5MHz) 115dB μ V(0.5～5MHz) 105dB μ V(5～30MHz)	CISPR11 Class A ①入力電力: 20kVA以下 ⇒Class A ②入力電力: 20kVA～75kVA ⇒Class Aの緩和限度値 ③入力電力: 75kVA以上 グループ2 Class Aの限度値
欧州	CE マーキング	EN 61000-6-2 (住宅環境のエミッション規格)	出力20kW未満	CISPR11 Class B		CISPR11 Class B
		EN 61000-6-2 (工業環境のエミッション規格)	出力20kW以上	CISPR11 Class A		CISPR11 Class A

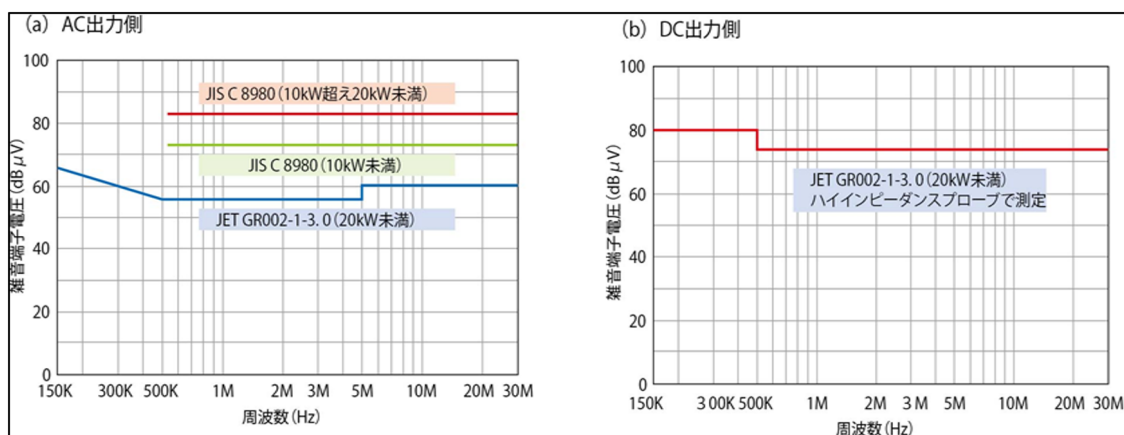


図 5 20kVA 以下の GCPC の伝導妨害波許容値

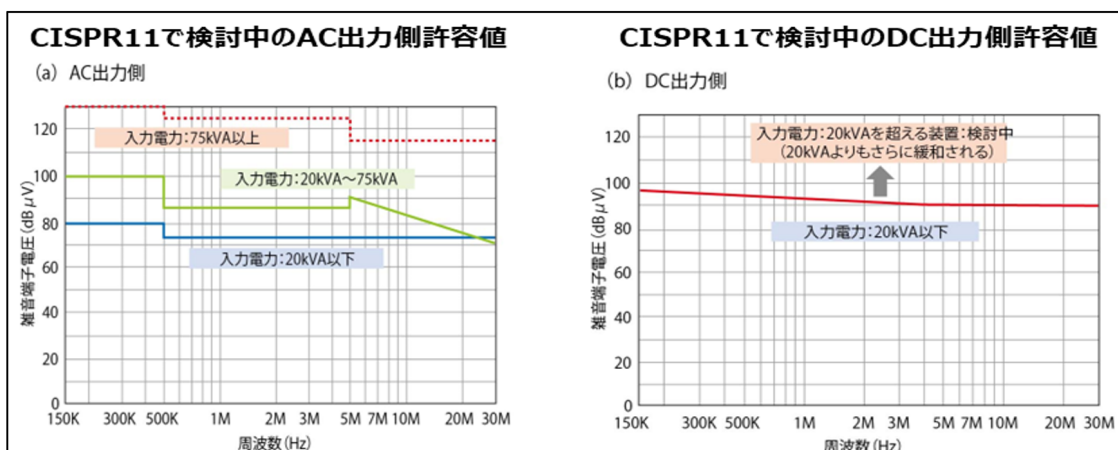


図 6 20kVA 以上の GCPC 以上の GCPC の伝導妨害波許容値 (CISPR 11 で検討中の許容値)

当時検討中の規格値を示している。現在は AC 出力側、DC 出力側とも図中表示の許容値である。

3. 大規模太陽光発電システムからの電磁妨害波

太陽光発電システムの導入量は、急速に増加しているが、その実現には、大規模太陽光発電システム（メガソーラー）の導入が有効であり、NTT ファシリティーズが北杜市と受託した、NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）「大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証研究」のメガソーラーにて、電磁環境を測定・評価しているのです、その概要について述べる⁴⁾。

図7に示すように、この北杜サイトには10kW PCS と、400kW PCS の両方を配備しており、それぞれの妨害波を評価している。

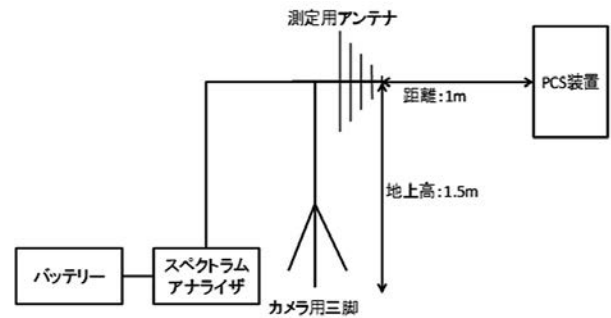
3.1 10kW PCS の放射妨害波

3.1.1 放射妨害波

本来放射妨害波の測定は、シールドルームや電波

暗室内等で測定すべきであるが、システムが大規模であるため、設置場所で、かつ当該の PCS から直接妨害波を測定できるよう、10kW PCS から距離：1m、地上高：1.5m で周波数帯域に対応したアンテナにより測定している。その結果を図8に示す。

この結果から、外来電波である AM ラジオや VHF テレビ等の電波以外の放射妨害波については、



放射妨害波測定系

(a) 放射妨害波測定系⁴⁾



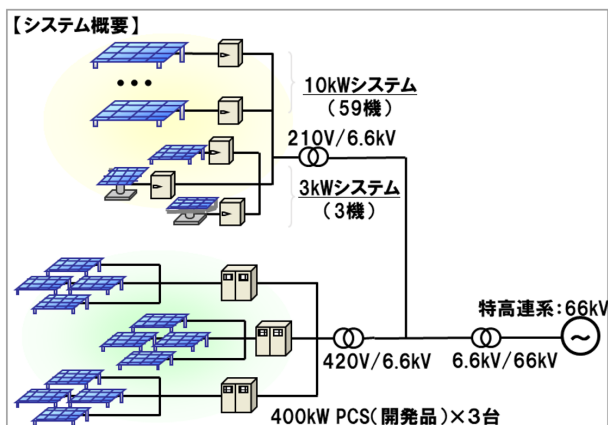
出典：NTT ファシリティーズジャーナル Vol.50, No.295

(a) 北杜市大規模太陽光発電システムの全景



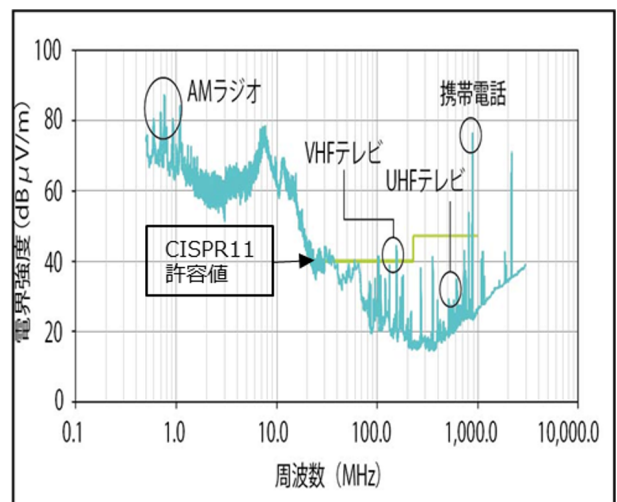
放射妨害波測定模様例

(b) 放射妨害波測定模様



(b) 北杜市大規模太陽光発電システム概要

図7 北杜市大規模太陽光発電システムの全景とシステム概要



(c) 放射妨害波測定結果例

図8 10kW 用 PCS の放射妨害波測定結果例⁴⁾

設置場所での測定であっても、CISPR11 クラス B の許容値を下回っていることがわかる。

3.1.2 伝導妨害波

本来はシールドルーム内に設置して擬似電源回路網にて測定すべきであるが、システムが稼働中であり、配線も切断できないため、図 9 に示すように、代替測定方法として認められている容量性電圧プローブ⁵⁾を使用して測定した。その結果を図 9(b) に示す。

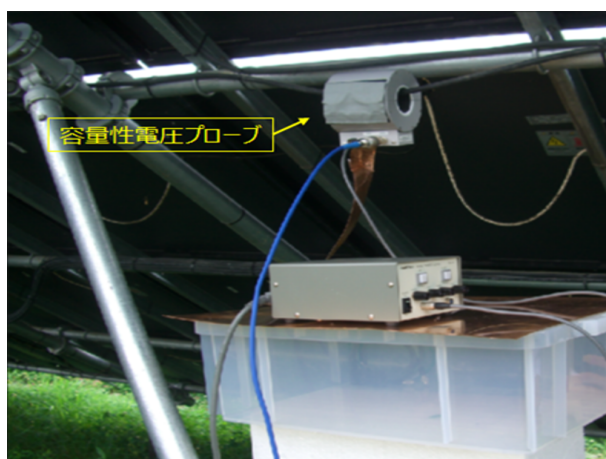
同図より CISPR 11 で検討している AC 電源側の伝導妨害波レベルを下回っていることがわかる。

3.2 大容量 PCS

3.2.1 放射妨害波

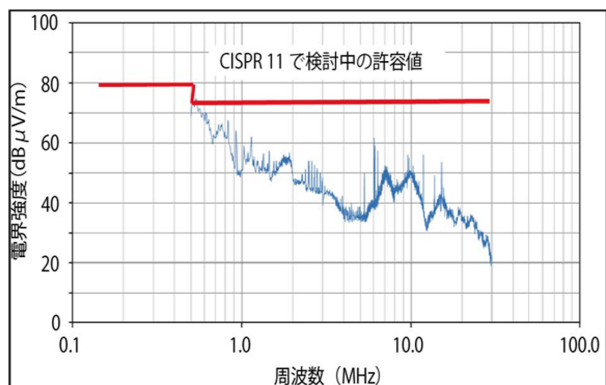
30MHz ～ 1GHz 帯域での放射妨害波は、ほとんど 10kW PCS の放射妨害波と同等であったので、500kHz ～ 30MHz までの放射妨害波特性を図 10 に示している。

周波数帯域 500kHz ～ 30MHz は疑似電源回路網



CVPを用いた伝導妨害波測定系

(a) 容量性電圧プローブを用いた伝導妨害波測定模様



伝導妨害波測定結果

(b) 測定結果例

図 9 10kW 用 PCS からの伝導放射妨害波測定結果例⁴⁾

(又は容量性電圧プローブ)で測定する必要があるが、ここではループアンテナを用いて測定しているため許容値は省いている。

3.2.2 伝導妨害波

この測定についても、10kW GCPC と同様に稼働中であることから、クランプ式電流プローブで測定した。その結果を図 11 に示している。

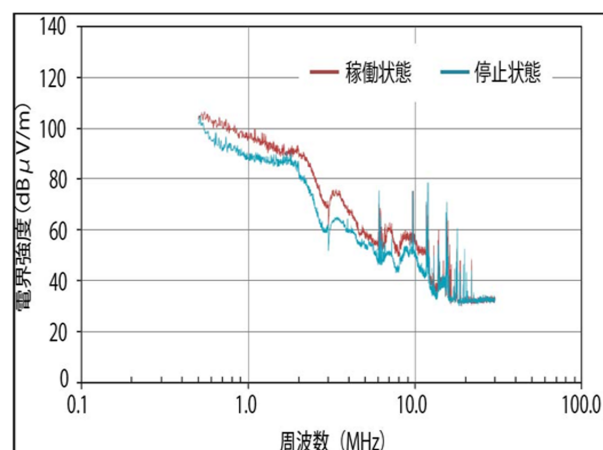
周波数が 500kHz から 2MHz の帯域が周波数の対数に対して、ともに緩やかに 10dB 降下しており、周波数特性が類似している。

また、伝導妨害波のレベルは PCS 容量 75kVA 以上の妨害波許容値以下であることがわかる。

4. 電磁妨害波による雑音の低減対策方法事例

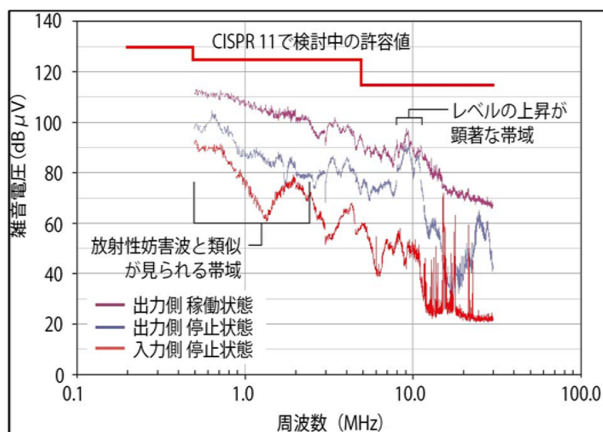
本章では、パワーコンディショナから発生する電磁妨害波を低減させる方法について述べる。

大容量 PCS の電磁雑音を低減させる方法として、



ループアンテナを用いた放射妨害波測定結果
(PCSから離隔距離：10m、高さ：1.5mで測定)

図 10 大容量 PCS の放射妨害波測定結果例



電流プローブを用いた伝導妨害波測定結果
(PCSの1台の伝導妨害波を測定)

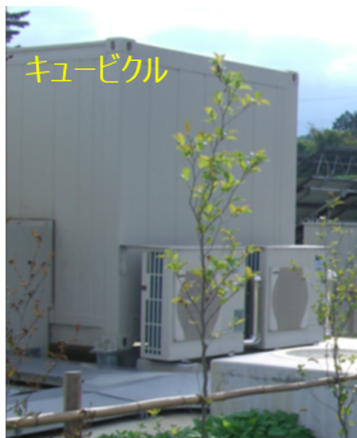
図 11 大容量 PCS の伝導妨害波測定例

一般的には、(1) PCS 筐体をキュービクル内に収容、(2) 配線にフィルタを設置、(3) 配線に地中ケーブルを使用して地上の露出部を少なくする、(4) インバータ内のスイッチングにおける、 dv/dt の立ち上がり峻度を低くする ことが挙げられる。

4.1 北杜大容量太陽光発電システムでの対策方法

北杜大容量太陽光発電システムでは、図 12 に示すように、PCS 筐体をキュービクル内に収容することにより電磁シールド効果を得ている。また、図 13 に示すように、配線は地中埋設ケーブルを使用して地中に埋設して外界に漏れる電磁妨害波を低減している。

以上の対策により、北杜での大容量太陽光発電システムからの電磁妨害波は限度値以下に低減されていた。



PCS 筐体がキュービクル内に収容

図 12 PCS 筐体をキュービクル内に収容した模様



配線に地中ケーブルを使用

図 13 配線に地中埋設ケーブルを使用した模様

4.2 大容量 PCS でのフィルタ等を用いた対策事例

ここでは、北杜大容量太陽光発電システムでは、PCS 筐体をキュービクル内に収容し、かつ配線に地中埋設ケーブルを用いて電磁妨害波の低減を図っていたが、このような低減対策でも良好な状態を保てない場合に、PCS 内にフィルタを設置して低減対策を行った例を示す。

大規模太陽光発電システムを構築した一例を図 14 に示す。PCS が 3 台設置されており、太陽光電池パネルから PCS に侵入する DC 側配線ルート、この電力を PCS を介して引込柱から電力を供給する AC 側配線ルートから売電する太陽光発電システムである (図 14 参照)。

測定点①は引込柱から立ち上がり、架空高圧線に布設されるケーブル下で、ラジオ受信機では“ザー”という広帯域雑音が混入しており、測定点②は DC 配線が道路に近い場所で、“ピー”という特定高音域雑音が混入していた (表 2 参照)。

この PCS 周辺の集電盤に設置したコンデンサ、コアを、変圧器盤に設置した AC ノイズフィルタの構成を図 15 に示している。

これらの対策品を設置する前後の、① DC 配線が道路に近い場所と② DC ラインの伝導妨害波を測定した結果を図 16 に示す。

同図から、ノイズ対策により AC ライン及び DC

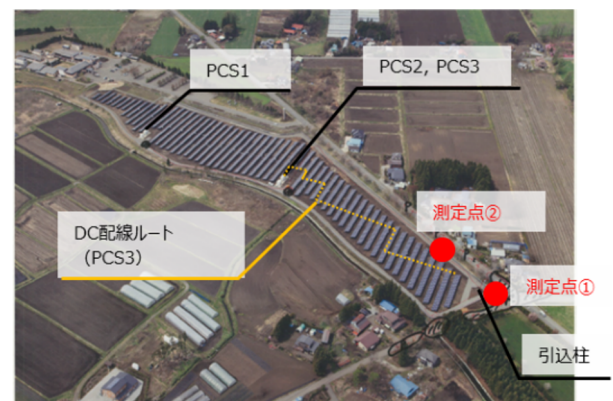


図 14 電磁雑音をフィルタで低減させたサイト状況

表 2 測定点のラジオ受信機混入状況

	地点詳細	受信障害状況	発生原因
測定点①	引込柱からの架空高圧線下	“ザー”という雑音の混入 (ザー音)	ACラインからの放射
測定点②	DC配線が道路に近い場所	“ピー”という雑音の混入 (ピー音)	DCラインからの放射

ラインからの放射ノイズが10～20dB程度低減し、AMラジオにおいて受信状態の改善（雑音混入の低下）を確認できた。民家付近においては、雑音混入は感じられなくなった。

また、ノイズ対策によりDCラインの伝導ノイズがラジオ受信帯域で10～20dB程度低減できた。

5. まとめ

太陽光発電システム用パワーコンディショナからの電磁妨害波に関して、課題、問題点や規格化の動向、対策方法等について述べた。

まず、10kW住宅用太陽光発電システムに関して

は、電磁妨害波の規制値に対して、放射妨害波及び伝導妨害波とも許容値以内であったことが分かった。

また、NEDOからの研究依頼を受けた「大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証研究」において、大容量（400kW）PCSの電磁妨害波に対して、伝導妨害波、放射妨害波とものに発行されるCISPR11 Ed.6.0を満足していることが明らかになった。

大容量太陽光発電システムでは、周囲環境への影響低減対策として、PCSをキュービクル内に収容し、かつフィルタを構成して対策できることが分かった。

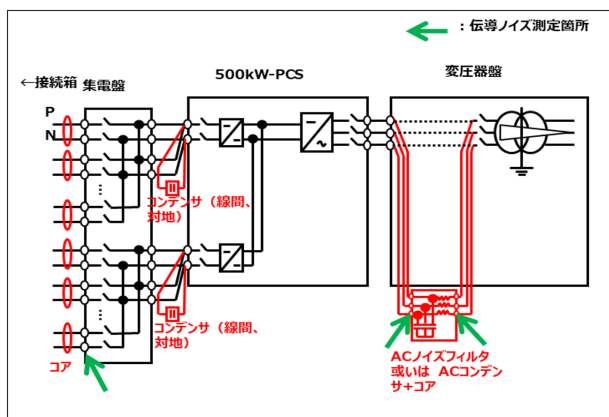


図15 当該PCSに設置したコンデンサ、コア等

参考文献

- 1) IEC CISPR 11 Ed.5.1: Industrial, scientific and medical equipment -Radio- frequency disturbance characteristics - Limits and methods of measurement, 2010.5
- 2) 井上正弘: GCPCのDCポート妨害波規制の最新動向, NICT/EMC-net 妨害波測定法研究会 第八回妨害波研究会資料, 2011.9
- 3) IEC CISPR 11 Ed.6.0: Industrial, scientific and

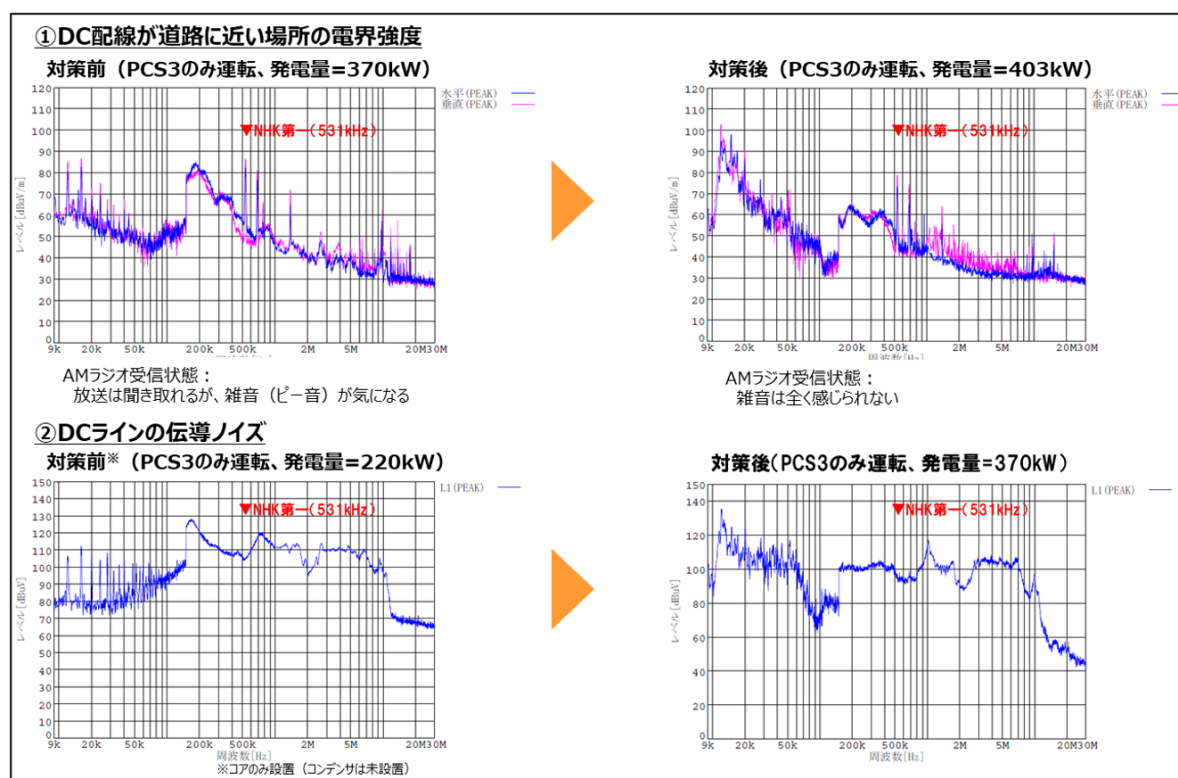


図16 対策前後のPCS低減効果測定結果

medical equipment -Radio- frequency disturbance characteristics - Limits and methods of measurement, 2015. 8

- 4) 小西博雄：北杜大規模太陽光発電実証試験における大容量パワーコンディショナの電磁雑音の評価，月刊 EMC，pp.21 ～ 29，2011. 10
- 5) 小林隆一，田島公博，広島芳春，桑原伸夫，服部光男：容量性電圧プローブの開発とその特性，電子情報通信学会研究報告，EMCJ98-25，pp.9 ～ 16，1998. 6

著者略歴



山根 宏（ヤマネ ヒロシ）

1980 年 3 月茨城大学工学部卒業，同年 4 月電電公社茨城電気通信研究所（現 NTT），2009 年 4 月 NTT-F 入社，通信 EMC（放射妨害波，イミュニティ，過電圧）評価，対策技術，太陽光発電システム評価に従事，2003 年，2006 年日本電気協会渋沢賞受賞，工学博士，2022 年 7 月から現職