

建設機械の EMC 試験に対応可能な大型電波暗室建設： 新欧州 EMC 試験要求（EN ISO 13766）が開始

下地 浩信

欧州における建設機械への EMC 要求が 2021 年 7 月 1 日から改訂される。電波を放射して試験することになる放射イミュニティ試験において、電子サブアセンブリ（ESA）に対しての要求から建設機械本体への試験が要求される。試験実施のためには、電波の放射が可能で大型の建設機械本体を設置可能な電波暗室が必要となる。本稿では欧州における試験要求の変遷および試験要求の概要を紹介する。

キーワード：EU 指令、EMC 試験、EN 13766-1、EN 13766-2、電波暗室

1. はじめに

機械の起源は人類の狩猟生活、農耕生活に利用した道具まで含めると古代まで遡る。建設機械としては、動力源として蒸気機関を利用することになった動力革命に登場する。この発明により建設機械は大きな発展をとげた。1980 年代に入ると、エレクトロニクスの発展により電気制御をとまなうメカトロニクス技術と融合され、近年はインターネットの普及にとまなう、自動化、情報化の流れの中で、単独で動く建設機械から、遠隔コントロールを通しての無人化の利用が始まっている。このように、建設機械への電子、電気製品の搭載は拡大している。

1980 年以降の電気製品の普及にとまなう、モーター等利用した大型機器から送出される不要電磁ノイズが無線通信や、TV、ラジオ受信機器に障害を与えることが問題になってきた。制御回路の発展により高速なスイッチングをとまなう半導体利用が進み、電気製品に多くの障害を与えることになった。この問題に対処するため、1930 年代になると、IEC（国際電気標準会議）など、国際機関が審議を開始、CISPR が担当部署になり、EMC 規制について議論が開始され規制が形作られた。

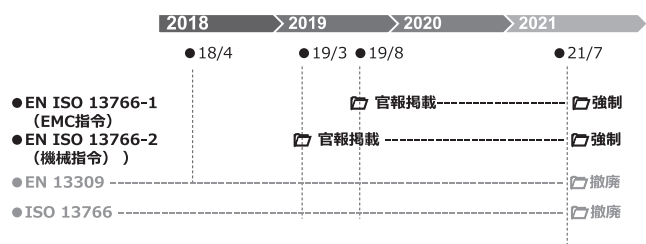
2. EMC 規制への流れと対象範囲

欧州においては、1993 年に EU（ヨーロッパ連合）が誕生し EC 指令から EU 指令に拡大している。その中で、機械指令、低電圧指令とともに、電磁適合性に関する EMC 指令が制定され、EC 加盟国に輸出（流通）

するには EU（EC）指令に適合していることが必要となった。

建設機械に対しての規制は、1999 年に機械の安全面からの要求になる ISO 13766 が策定され、次に 2000 年に、欧州 EN 規格の要求である EN 13309 が発行された。欧州連合（EU）では、機械指令、および EMC 指令において、これら両規格の適合性が必要となった。

2021 年 6 月 30 日に、EN 13309 および ISO 13766 が撤廃となる。2019 年 8 月発行の EMC 指令の官報により、新たな規格 EN ISO 13766-1:2018 が発行された。2019 年 3 月発行の機械指令の官報により EN ISO 13766-2:2018 が、2021 年 7 月 1 日から強制化となった。（図—1）。これにより、放射イミュニティの上限周波数の拡大と建設機械本体への電波照射が求められるようになった。この変更は、電子サブアセンブリ（以後 ESA）単位で対応していた EMC 試験要求に関して、建設機械本体での試験が必要となったことを示唆する。同時に、1 GHz 以上の電磁放射イミュニティ試験に関しては、代替え法の設定がされていないため、建設機械本体への試験が可能な試験設備が求められることになった。

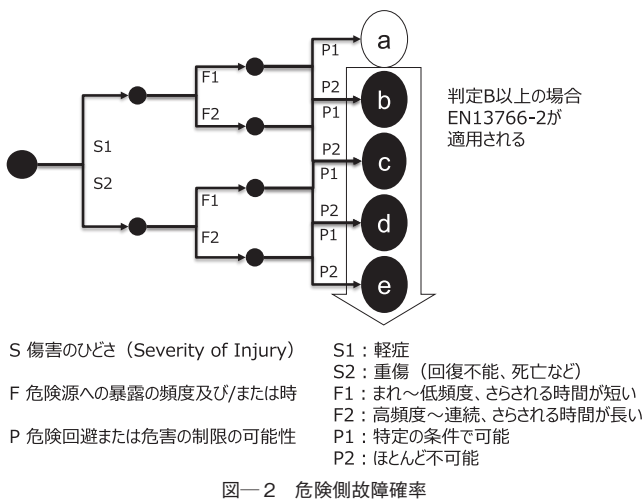


図—1 EMC 規格の変遷

3. 規格の要求

規格の要求する対象範囲は、ISO 6165：2012 に土木機械が、ISO / TR 12603：2010 に建物（たてもの）建設機械として記載されている。土木機械は、採掘、積載、運搬、作業中の道路、ダム、採石場、鉱山、建築現場などでの土、岩、その他の材料の掘削、拡散、圧縮、溝掘りなどの機械設備である。建物建設機械は、掘削（くっさく）および基礎設備コンクリート、モルタル、および処理補強材の準備、運搬、圧縮に使用される機器、道路建設およびメンテナンス作業に当たる機械設備である。ただし、外部電源から供給をうける機械設備には適用されない。

規格の構成としては、EMC 指令で要求される規格が EN 13766-1、機械指令で要求される規格が EN13766-2 の構成となっている。EN13766-1 では、一般的な電磁環境条件化での EMC 評価のためのテスト方法と許容基準が示され、対象とされている機械全てが対象となる。EN13766-2 では、機能安全に関する追加の要求が記載されている（図—2）。



試験サンプル数により限度値、印加レベルが設定されている。EN 13766-1 では、単一の試験片を使用して同様の機械の母集団のパフォーマンスを判断する場合、エミッション試験は、規格に記載されている限度値よりも 20% 厳しい限度値での評価が必要になる。イミュニティ試験は、規格書に記載されている印可レベルから 25% 厳しい条件にて試験が必要になる。ただし、静電気放電試験、伝導過渡現象の試験はこれに該当しない。EN 13766-2 では、単一サンプルでの印加レベルを規定しており、複数サンプルで試験を実施した場合は、20% 減での試験が可能となる。

規格の試験要求（図—3）は、EN 13766-1 では、

広帯域および狭帯域の電磁放射エミッション、電磁放射イミュニティ、静電気、伝導過渡現象、EN 13766-2 では、電磁放射イミュニティ、静電気、伝導過渡現象となる。

● EN13766-1 試験項目

試験項目	参照規格	対象
電磁放射エミッション	Annex B, C	機械 / 電子部品
電磁放射イミュニティ	ISO 11451-2	機械 / 電子部品
静電気	ISO 10605	機械 / 電子部品
伝導過渡現象	ISO 7637-1,-2 ISO16750-2	----- / 電子部品

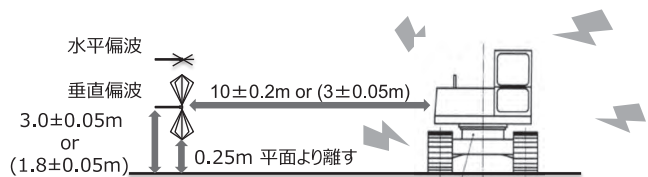
● EN13766-2 試験項目

試験項目	参照規格	対象
電磁放射イミュニティ	ISO 11451-2	機械 / 電子部品
静電気	ISO 10605	機械 / 電子部品
伝導過渡現象	ISO 7637-1,-2 ISO16750-2	----- / 電子部品

図—3 規格の試験要求

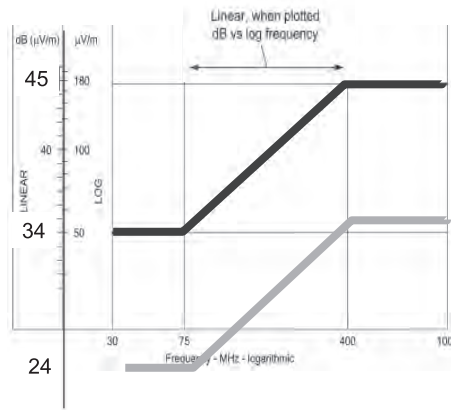
(1) 電磁放射エミッション

電磁放射エミッションは電気機器から放出される不要な電磁波ノイズと規定されている。この電磁波ノイズは、空間や電線路を伝搬して他の電気機器に影響を与える可能性があり、この障害を未然に防ぐため、電磁波ノイズには定められた限度値が制定されている。電磁放射エミッション試験は、建設機械から 3m もしくは 10m の距離に受信用アンテナを設置して、受信周波数、30 MHz ~ 1,000 MHz の範囲での試験対象機器から放射される電界強度の測定を行う（図—4）。アンテナ偏波は水平、垂直の各々で測定される。



測定は、広帯域ノイズ（特定の測定装置または受信機よりも広い帯域幅を持つ放射ノイズ この規格では 120 kHz）と、狭帯域ノイズ（特定の測定装置または受信機よりも狭い帯域幅を持つ放射ノイズ）で定義され、限度値は、図—5 に示すように、10m の距離では、30 MHz ~ 75 MHz の周波数帯域で 34 dB (μV/m)、75 MHz ~ 400 MHz の周波数帯域で 34 ~ 45 dB (μV/m) に対数的（直線的）に増加、400 MHz ~ 1,000 MHz の周波数帯域では、45 dB (μV/m) 以下と定義される（図—5）。

- [広帯域] *10m 限度値
 ✓ 3mで実施時は10dB(μV/m)加算
- [狭帯域] *10m 限度値
 ✓ 3mで実施時は10dB(μV/m)加算

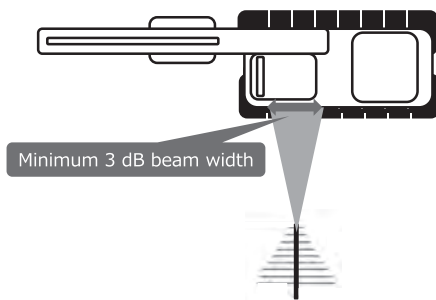


図一5 限度値

動作環境は、広帯域測定時と狭帯域測定時で異なる。広帯域測定時には、継続的に使用されていると考えられる広帯域エミッションの全ての発信源(ソース)は、試験中動作させる必要がある。それは、操作時15秒以上動作状態になっているすべてのデバイスが対象になる。機械がエンジン駆動の場合、エンジンは通常の動作温度で動作させ、ニュートラル状態にする。この場合、速度設定メカニズムが電磁エミッションに影響を与えないように注意が必要となる。各測定中、Spark ignition (火花点火) については、単発シリンダの場合、2,500回転、複数シリンダの場合、1,500回転での試験が必要になる。ディーゼルエンジンについては公称速度の±10%と規定される。

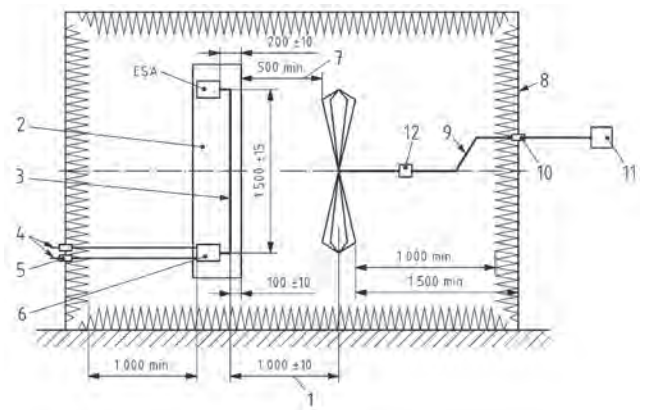
狭帯域測定においては、建設機械のすべての電子システムは、建設機械を固定した状態で通常の動作モードとなる。このときの条件としては、機械のすべての電子システムは、機械を固定した状態で通常の動作モードにし、イグニッションまたはエンジン運転制御をオンにしエンジンは作動させない。

受信アンテナの受信エリアが機械上の既知の広帯域・狭帯域ソースをカバーすることや、建設機械が大型の場合、アンテナのビーム幅を超えることが予想されるのでそれらを考慮する必要がある(図一6)。



図一6 有効ビーム幅

ESA への測定は、建設機械本体と試験時の構成自体が異なる(図一7, 8)。電子部品の配置は、非導電性の低比誘電率材の金属接地面から、50mm離さなければならず、グラウンドプレーンに平行なテストハーネスの長さは、 $1,500 \pm 75$ mm でなければならない。などの規定に従う必要がある。上記は、試験規格ISO11452-2に定義されている。



- 1 アンテナの軸またはログの最も近い素子に対して 周期配列 : $1\,000 \pm 50$
- 2 大地面が壁に接着されたテストベンチ
- 3 テストハーネス 1500 ± 75 長、大地面上 $50 \cdot 10$
- 4 試験対象への電源供給
- 5 フィードスルー
- 6 ANを含む接続ボックス
- 7 最も近い放射素子500分。エッジグラウンドプレーンから
- 8 シールドエンクロージャ
- 9 二重シールド同軸ケーブル
- 10 フィードスルー
- 11 測定受信機
- 12 アンテナに近接したアンテナマッチングユニット (必要な場合)

図一7 ESA 試験構成図

(2) 電磁放射イミュニティ

電磁放射イミュニティとは、外部からの電磁波に対する耐性のことと定義され、建設機械が性能劣化(もしくは許される範囲の性能劣化)で動作できるかの確認要求である。

EN 13766-1 では、24 V/m の電界レベルが要求され、単一サンプルでの試験では、30 V/m での電界レベルが必要となる。印加波形には、20 MHz ~ 800 MHz は 80% AM 変調、800 MHz ~ 2,000 MHz は、 $t_{on} 577 \mu s$, period 4,600 μs の PM 変調が印加される。動作の判定基準は、すべての機能は、曝露中および曝露後に設計どおりに機能することが要求される。EN 13766-2 では、より強い印加レベル条件となる (図-8)。この図に示すテストレベルの値は、単一サンプルのテストに適用となるため、複数のサンプルで実施の場合は、20% 減での試験が可能である。

● EN13766-1 電磁放射イミュニティ 試験レベル				
判定基準	参照規格	周波数	変調	試験規格
A	30 V/m	20-800 MHz	AM	ISO 11451-1:2015
		800~2000 MHz	PM	
● EN13766-2 電磁放射イミュニティ 試験レベル				
判定基準	参照規格	周波数	変調	試験規格
A or FS	60 V/m	20-80 MHz	AM	ISO 11451-2:2015
	100 V/m	80-800 MHz		
	10 V/m	2.0-2.4 GHz	PM	
	5 V/m	2.4-2.7 GHz		

図-8 電磁放射イミュニティ試験レベル

判定基準は、EN 13766-1 での判定基準に加え、建設機械の安全関連機能が意図したとおりに動作する場合、つまり、ISO 13849-1:2015 で定義されている安全状態に移行する場合は、性能要件は満たされると判断される。

建設機械本体への試験の事前準備としては、電界基準点と動作モードの確定が必要となる。これらは、マシン固有であるため事前に確認が必要となる (図-9)。

試験時の動作状態についてはスタンバイモードを含め、全ての機能が動作されているモードで試験を実施する必要がある。オンボードソースへの確認試験も必

要となる。試験時のセットアップは、次の規定に従う必要がある。

- ・電磁波発生装置の放射要素は吸収材の 0.5 m 以内及びシールドルームの壁 1.5 m 以内に近づけてはならない。
- ・基準点からアンテナの位相中心へ水平方向に 2 m 以上は離す必要がある。
- ・床から 0.25 m 以上、アンテナのいかなる部分も確保する必要がある。
- ・送信アンテナと試験サンプルを結ぶ直線経路上に、吸収材を配置してはならない。

ESA への放射イミュニティ (図-10) の試験要求は機械への要求とは異なる。印加レベルは機械と同様の 24 V が要求される。

(3) 静電気試験

静電気放電試験は人体に帯電した静電気が放電時に引き起こす妨害を模擬したもので、模擬する帯電量と放電状態によって試験機の静電容量と放電抵抗は組み

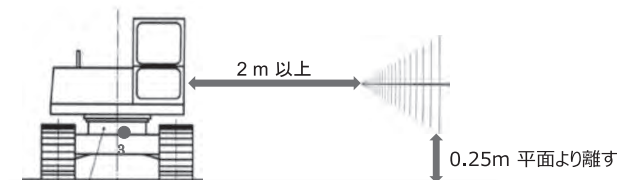
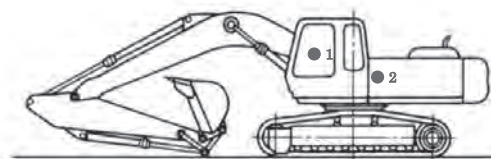
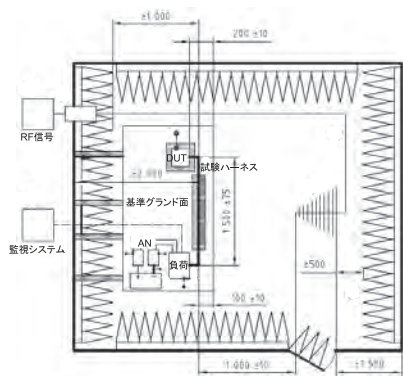
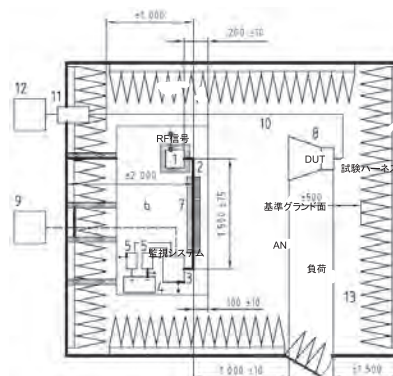


図-9 電界基準点 (1, 2) とアンテナ位置の例



ログペリオディックアンテナ



ホーンアンテナ (1 GHz 以上)

図-10 放射イミュニティセット試験構成図

合わせされる。これは、標準使用時での静電気印加(例えば、オペレーターが接触することによる静電気)の発生为建设機械またはESAへの影響の確認試験になる。(図-11, 12)参照規格はISO 10605。試験環境は、 $25 \pm 10^{\circ}\text{C}$ 相対湿度は20%~60%の環境が要求される。

動作モードは、建設機械を通常モードや客先指定の動作モードにて実施し、車両のエンジンはドライブ又はアイドルモードで動作しなければならない。ESD印加ポイントは、建設機械毎に確認し設定する。主な印加ポイントは、乗りこむ際に人が触れるところ、または、操縦席周りになる。

印加レベルとしては、EN 13766-1は $\pm 4\text{ kV}$ の接触および気中放電、 $\pm 6\text{ kV}$ の接触放電、 $\pm 8\text{ kV}$ の気中放電、EN13766-2は、 $\pm 8\text{ kV}$ の接触放電、 $\pm 15\text{ kV}$



図-11 機器本体へのESD試験例

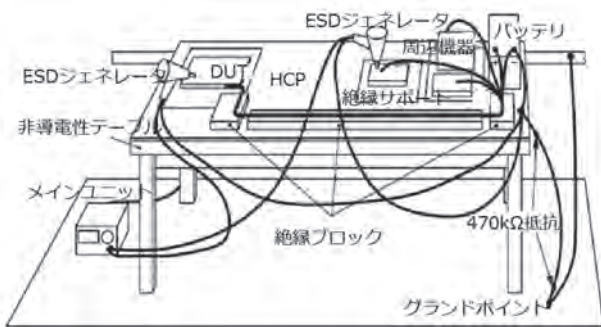


図-12 ESAへのESD試験構成図

の気中放電となる。

静電気印加をシミュレートするために設定された、印加電流のカーブを示す。(図-13)である。左の波形は金属のカギなどを持った人から金属を伝い放電されることを意図した電流波形で、放電抵抗は $330\ \Omega$ である。右の波形は人の指などからの直接の放電を意図した放電抵抗 $2\text{ k}\Omega$ 設定のカーブである。

EN 13766-1の判定基準は、 $\pm 4\text{ kV}$ 印加時は判定基準Aを、それ以上は判定基準C、EN 13766-2は、判定基準Aまたは判定基準FSが要求される。判定基準Aは、デバイス/システムのすべての機能は、曝露中および曝露後に設計どおりに機能する、判定基準Cは、デバイス/システムの1つ以上の機能が曝露中に設計どおりに動作しないが、曝露終了後、自動的に通常の動作に戻る、判定基準FSは、電気/電子コンポーネントを使用して安全状態に入るための安全関連の機械/制御システムの動作と定義される。なお、判定基準FSについて、各々の機材の安全状態がどのような状態となるものかは、それぞれに定義するものとする。

(4) 伝導過渡現象試験

伝導過渡現象試験は、ある定常状態から別の定常状態に移るまでに起こる電圧や電流などの時間的な変化と定義される過渡現象源とドレイン間の導体を介して、機械またはコンポーネントまたは個別のESAの電源配線に分布する過渡電圧または電流を評価する試験である。伝導過渡現象の試験は、伝導性エミッションと伝導性イミュニティに定義される。

伝導性エミッションは、ソレノイドなどのより高いパルスを生成する可能性のあるデバイスについて、他の高誘導性デバイス(ハーネスを含む)および高速スイッチング負荷が、ESA試験の基準制限値未満のパルスのみを生成するようにするものとする。これは、誘導性負荷からの電源の遮断時に発生する過渡現象を

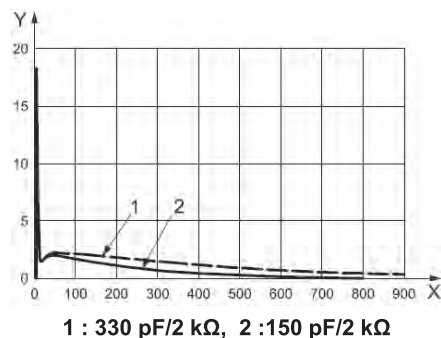
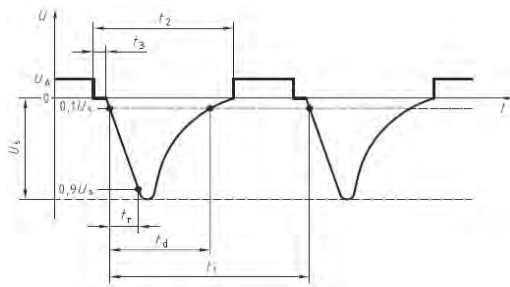


図-13 ESD印加電流カーブ

● Pulse 1



Parameter	12 V system	24 V system
U_s	-75 V to -100 V	-450 V to -600 V
R_i	10 Ω	50 Ω
t_d	2 ms	1 ms
t_r	1-0 μ s	3-1.5 μ s
t_1^a	0.5 s to 5 s	
t_2	200 ms	
t_3^b	< 100 μ s	

^a t_1 shall be chosen such that the DUT is correctly initialized before the application of the next pulse
^b t_3 is the smallest possible time necessary between the disconnection of the supply source and the application of the pulse.

図—14 伝導過渡現象印加パルス例

模擬したものである。エミッションは、対象製品の電源のスイッチやリレーなどを、開閉した際に電源線上に発生する過渡エミッションを測定する。発生した過渡エミッションは電圧プローブとオシロスコープを用いて測定を行う。

伝導性イミュニティは、機能ステータスクラスの試験レベルが適用される。機能の実行ステータスは、すべての異なるチェックパルスの試験前に指定する必要がある。

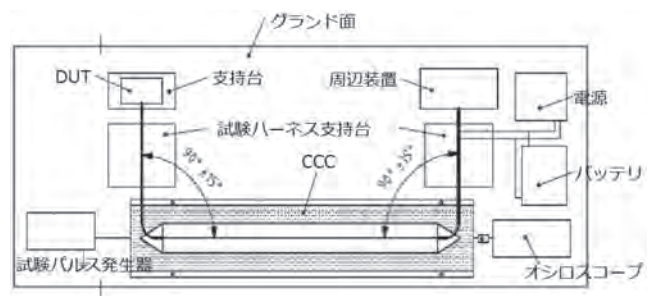
ESA の放出のためのパルスは、1 から 5b までのパルスが定義されており、各々印加する。

例として Pulse 1 の波形を示す。誘導性負荷からの電源の遮断時に発生する過渡現象を模擬と定義され、この信号を印加することになる (図—14)。

試験セットアップとしては、Capacitive coupling clamp 法, Direct coupling capacitor 法, Inductive coupling clamp 法がある。例として, Capacitive coupling clamp 法における試験構成例を示す (図—15)。

4. おわりに

情報通信技術 (ICT), 人工知能 (AI) の進化にともない, 自動運転, 動力の電動化, 情報のクラウド管理など, 多方面にわたり, 建設機器の電子化は進んでいくと思われる。EMC の要求も, 電気ノイズ, ノイズ耐性を主とした耐環境の試験から, 通信環境, 通信品質への規格適合の要求, 通信プロトコルの適正化, セキュリティの対応など, 建設機械の進化とともに,



図—15 伝導過渡現象試験構成図

要求内容が拡大化されている。今後も、最新の世界の規格の情報提供、試験環境の提案などを通じて、次世代建設機械業界の発展に貢献できると考えている。

J C M A

《参考文献》

- 1) ISO 13766-1 First edition 2018-04 Earth-moving and building construction machinery — Electromagnetic compatibility (EMC) of machines with internal electrical power supply — Part 1: General EMC requirements under typical electromagnetic environmental conditions
- 2) ISO 13766-2:2018 First edition 2018-04 Earth-moving and building construction machinery — Electromagnetic compatibility (EMC) of machines with internal electrical power supply — Part 2: Additional EMC requirements for functional safety
- 3) B 9705-1 : 2019 (ISO 13849-1 : 2015)

【筆者紹介】

下地 浩信 (しもじ ひろのぶ)
 (株)UL Japan
 コンシューマーテクノロジー事業部
 コマーシャルグループ
 EMC/無線セールス

