

## 8. 建設用ロボットを対象とした電磁環境に即した 伝導性ノイズイミュニティシステムの開発\*

富田 一\*\*, 植木利之\*\*\*

## 8. Development of a Construction Robot Immunity System Simulating Conducted Disturbances on the Shop Floor\*

by Hajime TOMITA\*\* and Toshiyuki UEKI\*\*\*

**Abstract:** Electric and electronic devices, equipment, or systems are exposed to various kinds of electromagnetic disturbances on the shop floor, such as static electricity and industrial electromagnetic sources, bursts, and surges. To prevent these devices, equipment, and systems from producing improper operating signals due to those electromagnetic disturbances, immunity tests are commonly carried out by the manufacturer before distribution.

As the current immunity tests do not cover all kinds of electromagnetic disturbances on the shop floor, it has been reported that some equipment, although having passed the immunity tests, produces improper operating signals on the shop floor. As a solution, an immunity system using purpose-built software which can simulate radiatic disturbances on the shop floor has already been developed.

As reported here, an immunity system for a construction robot using general-purpose software which can simulate conducted disturbances on the shop floor has been developed. The software is used for the calculation of fast Fourier transformation, the division of complex numbers, and inverse fast Fourier transformation. The transfer function of the immunity system is then obtained. The input waveform is obtained as the result of compensating for the transmission characteristics of the immunity system. The applicability of a current-injection probe, electromagnetic clamp (EM-clamp), capacitive coupling clamp, and coupling and decoupling networks (CDN) used for test-signal injection in the current immunity test to simulate conducted disturbances on the shop floor is considered. The usability of the developed system was tested using a model circuit, and a photoelectric safety device for a power press was used as an example of a control device for a construction robot. The current-injection probe, EM-clamp, capacitive coupling clamp, and CDN were able to generate the intended test signals after compensating for the transmission characteristics of the system.

**Keywords;** Immunity, Electromagnetic compatibility, Electromagnetic disturbance, Malfunction, Electronic equipment

---

\* 電気・情報関連学会中国支部第52回連合大会<sup>1)</sup> で一部発表

\*\* 物理工学安全研究グループ Physical Engineering Safety Research Group

\*\*\* 科学技術振興事業団 重点研究支援協力員 Supporting Staff for Priority Research, Japan Science and Technology Corporation

### 1. はじめに

電磁ノイズに起因した産業機器の誤作動防止対策の一環として、機器のメーカー等において予め機器の耐ノイズ性を調べるイミュニティ試験が行われている。イミュニティ試験法は IEC (国際電気標準会議) 等で規格化され、例えば静電気放電、無線放射電磁界、バースト、サージ、無線周波によって誘導される伝導性ノイズに関する試験法がある。これらの試験は機器の耐ノイズ性を把握し、機器の電磁ノイズに起因した誤作動防止に有効な手段となっている。

規格化されたイミュニティ試験法は電子機器の耐ノイズ性を把握するために大変有効であるが、実際の生産現場における電磁ノイズは周波数的に拡がりがあり、また、複数の電磁ノイズ源によって影響される場合もある。そのため、複合化された電磁ノイズ源の存在する生産現場の電磁環境に応じたイミュニティ試験の実施が電子機器の耐ノイズ性を確認するために必要との指摘もされている。すでに、適応デジタルフィルタの理論に基づいて、イミュニティシステムの信号伝送系の伝送特性を補正して任意電磁ノイズを発生させる装置が開発されている<sup>2)</sup>。同システムは、空間を伝播する放射性電磁ノイズを主に対象としており、また、専用のソフトウェアを用いている。

ここでは建設用ロボット等への伝導性ノイズに対するイミュニティ試験への適用を念頭に、生産現場の電磁環境に即応した耐性試験法の簡易な適用手法を検討した。具体的には、汎用ソフトウェア MATLAB を用いてイミュニティシステムの伝送特性の補正を行った。また、イミュニティ試験の試験信号の印加装置として使用されている結合・減結合装置 (CDN)、カレントインジェクションプローブ、容量性結合クランプ、EMクランプについて、作業現場等における伝導性ノイズ波形を再現する場合の印加特性を実験的に検討した。これらの結果について報告する。

### 2. 伝送特性の補正及びシステム

#### 2.1 基本的な考え方

周知のように信号伝送系に信号  $f(t)$  が入力されたとき、その信号伝送系の伝達関数が  $h(t)$  であると、その出力信号  $g(t)$  は

$$g(t) = \int f(t)h(t-\tau) d\tau \tag{1}$$

となる。式 (1) のフーリエ変換によって

$$G(\omega) = F(\omega)H(\omega) \tag{2}$$

となり、伝達関数  $H(\omega)$  は  $H = G/F$  によって求められる。

発生させたい任意電磁ノイズ波形を  $e(t)$  とすると、そのフーリエ変換  $E(\omega)$  と  $H(\omega)$  の商 (=  $E/H$ ) のフーリエ逆変換によって、 $e(t)$  を出力させるときに信号発生器で発生させる波形  $w(t)$  が求められる (Fig. 1)。

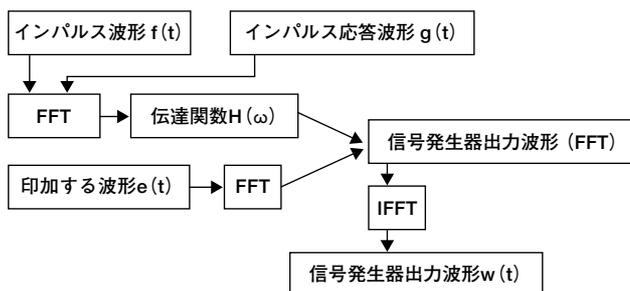


Fig. 1 Basic concept of immunity system. イミュニティシステムの基本概念

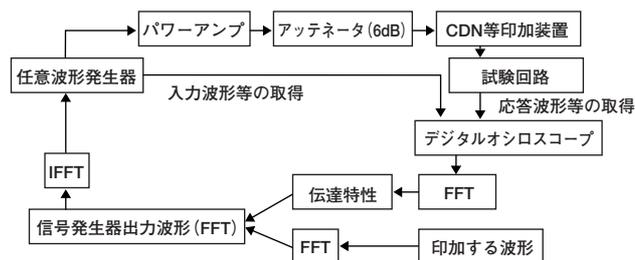


Fig. 2 Fundamental configuration of immunity system. イミュニティシステムの基本構成

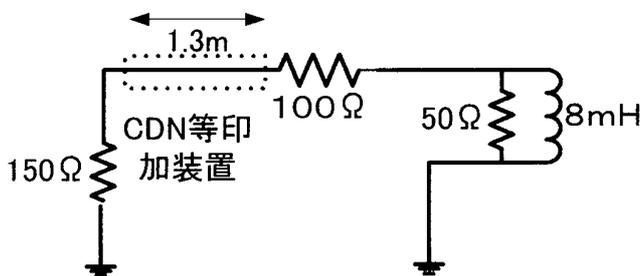


Fig. 3 Test circuit. 試験回路

## 2.2 基本構成

対象とする電磁ノイズは伝導性ノイズとし、約 100 MHz 程度までを対象とした。任意波形発生用の信号発生器はサンプリング周波数が最高 250 MHz、分解能 12 ビットである。波形測定用には分解能 8 ビット、周波数帯域 500 MHz、最高サンプリング周波数 1 GHz のデジタルオシロスコープを使用した。これらの機器を使用した基本的なイミュニティシステムの構成を Fig. 2 に示す。

また開発したイミュニティシステムの基礎的な特性を確認するために、現行の無線周波によって誘導される伝導性ノイズに関する試験法において特性確認に使用されている回路を参考とした試験回路を Fig. 3 に示す。長さ 1.3 m の絶縁線の一端には 150  $\Omega$  の抵抗、他端には 100  $\Omega$  と、8 mH、50  $\Omega$  が並列に接続された回路とが直列に接続されている。対象とした印加装置は CDN-M2、CDN-M1、カレントインジェクションプローブ、EM クランプ、容量性結合クランプとした。ただし、CDN-M2 の場合には 1.3 m の絶縁線を使用せずに、負荷を直接に CDN-M2 に接続した。

なお、イミュニティシステムの伝送特性の補正を確認する出力波形は、8 mH、50  $\Omega$  が並列に接続された箇所の電圧波形とした。

## 2.3 伝達関数の計算

伝達関数を求めるために、発生させたい波形と周期が同一で振幅の異なる波形を入力信号として用いた。まず、入力信号として、サンプリング周波数 500 MHz で 15000 ポイントのデータをオシロスコープに取り込み、その後、入力信号がイミュニティシステムの信号伝送系を通過した後の出力波形も、入力信号の取り込みと同一のサンプリング周波数、取り込みデータ数でオシロスコープに取り込む。その後、MATLAB により、8192 ポイントの入力及び出力波形データを用いて高速フーリエ変換を行って信号伝送系の伝達関数を求める。求めた伝達関数と、出力させたい波形を用いて、データの時間間隔を信号発生器の周波数を考慮して、4 ns として同システムへの入力波形を求める。

## 3. 計算及び実験

一例として Fig. 4 に示す三角波 (Reference) を発生させる方法について説明する。この三角波の周波数スペクトルは約 2 MHz にピークを有する (Fig.

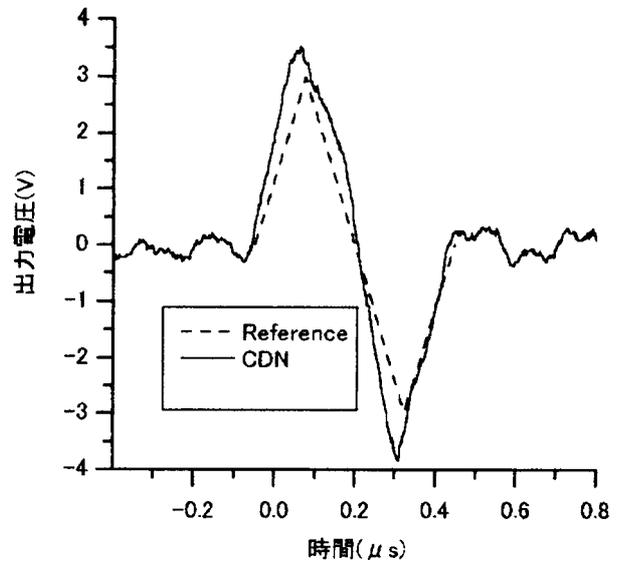


Fig. 4 Output waveform for CDN and the intended output waveform.  
CDNによる出力波形と所望の出力波形

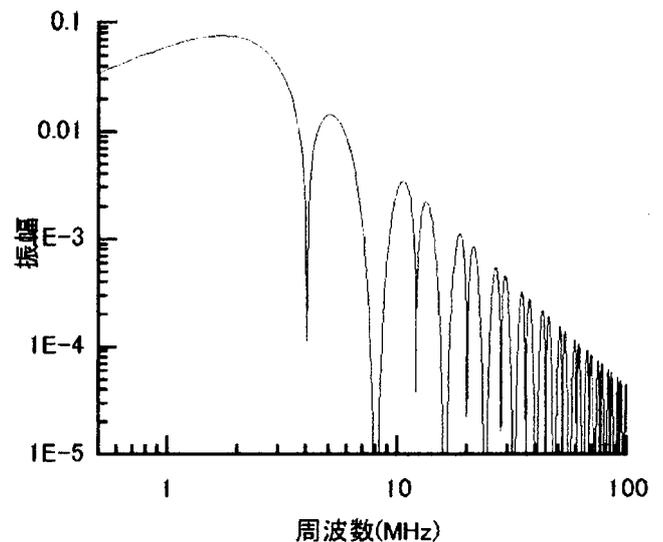


Fig. 5 Amplitude spectrum of the intended output waveform.  
所望の出力波形の振幅スペクトル

5)。まず印加装置として CDN-M2 を用いるとき、CDN の 2 本の出力端子を短絡し、CDN-M1 と同様の回路構成とした。この回路に、Fig. 4 (Reference) の波形と類似した Fig. 6 の波形を伝達関数算出のための入力波として用いた。

入力として Fig. 6 の波形を CDN-M2 に印加したとき、その応答波形を Fig. 7 に示す。用いたイミュニティシステムの伝送線路系の有する伝送特性のために、入力波形とは異なる波形となっている。Fig. 6、

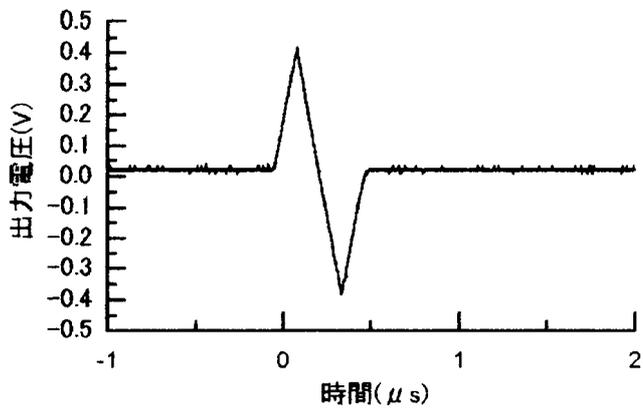


Fig. 6 Input waveform for the measurement of transmission characteristics of the system. システムの伝送特性測定用入力波形

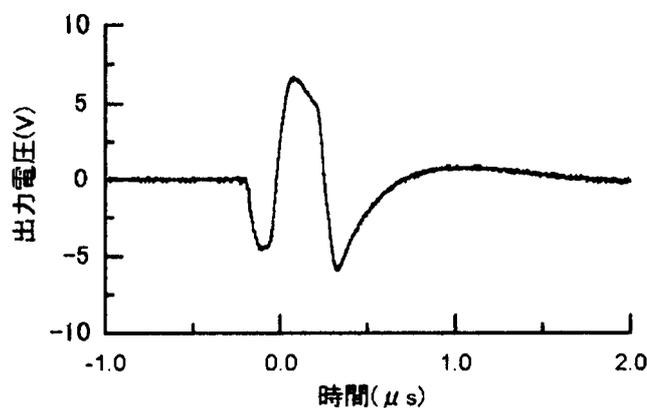


Fig. 7 Output waveform to the input waveform of Fig. 6. 図6の入力波形に対する出力波形

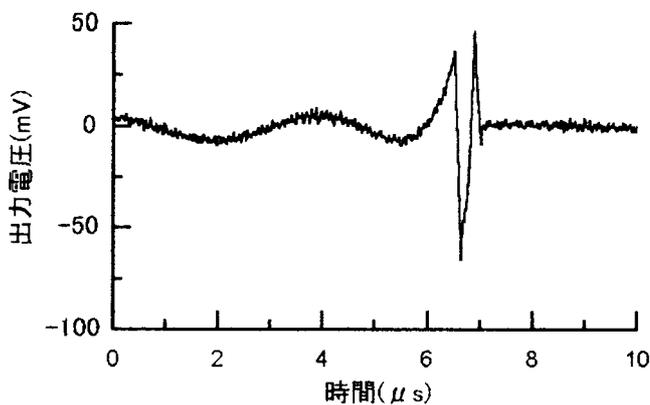


Fig. 8 Input waveform after compensating for the transmission characteristics of the system. システムの伝送特性補正後の入力波形

7の波形を用いてイミュニティシステムの伝送線路系の伝達関数を求め、伝達関数から信号発生器での出力波形を求めると、Fig. 8が得られた。Fig. 8の入力波形に対する出力波形は、Fig. 4の中のCDNとなり、同図に併記された出力させたい波形(Reference)に近い波形が出力されている。

次にカレントインジェクションプローブ、EMクランプ、容量性結合クランプを用いて同様の測定を

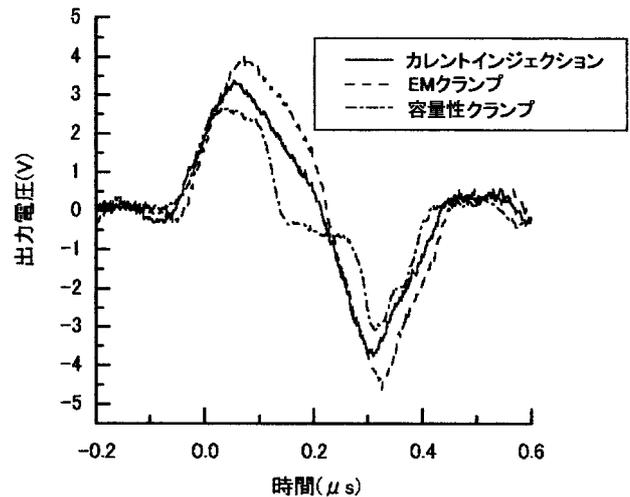


Fig. 9 Output waveforms for current injection probe, EM-clamp and capacitive coupling clamp. カレントインジェクションプローブ、EMクランプ、容量性結合クランプ使用時の出力波形

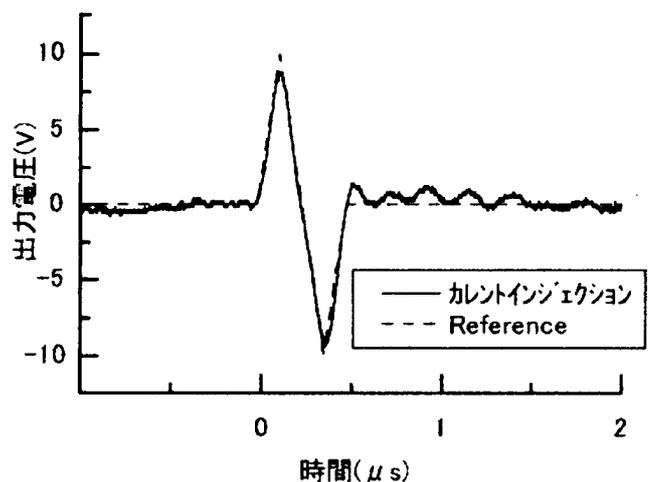


Fig. 10 Output waveform for current injection probe and the intended output waveform. カレントインジェクションプローブの出力波形と所望の出力波形

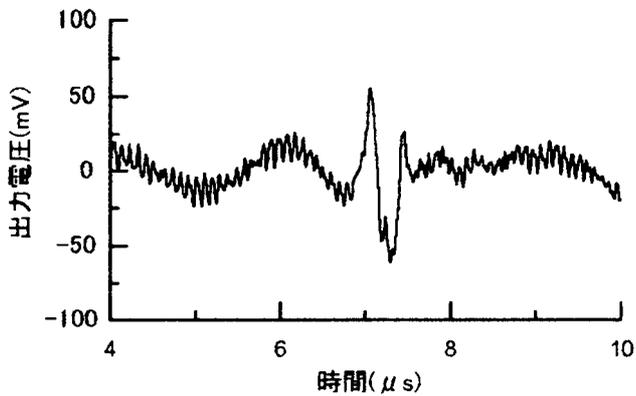


Fig. 11 Input waveform for current injection probe.  
カレントインジェクションプローブの入力波形

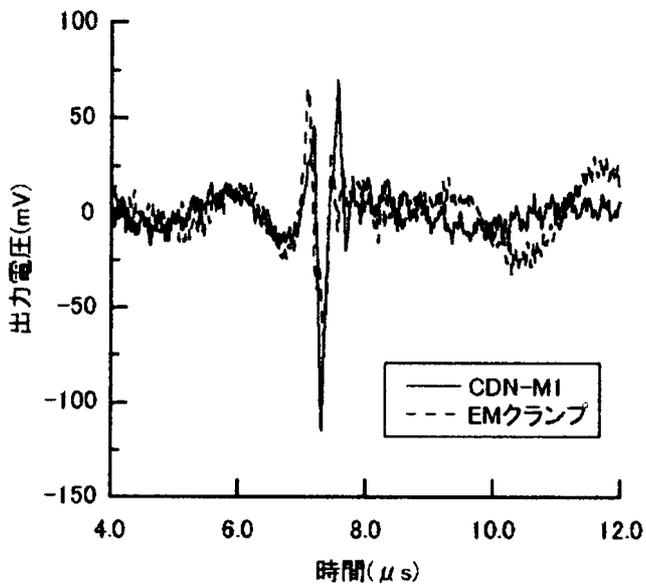


Fig. 12 Input waveform for CDN-M1 and EM-clamp.  
CDN-M1, EMクランプ使用時における入力波形

行った。出力波形を Fig. 9 に示す。カレントインジェクションプローブ, EM クランプは Fig. 4 に近い波形となったが, 容量性結合クランプについては類似性が低いものであった。

#### 4. 制御装置を対象とした実験

建設用ロボット等は制御装置とアクチュエータの部分とが信号線を介して接続されている。このような制御装置への電磁ノイズ印加の例として, プレスに使用される光線式安全装置を用いてイミュニティシステムの動作特性の実験を行った。

光線式安全装置は装置を制御する電子回路と赤外

線の遮光の有無を検出するセンサとが信号線を介して接続されている。ここでは, 電源線に電磁ノイズが重畳した場合について, 電磁ノイズ波形を再現することとする。

電源線に印加する電磁ノイズ波形は, 電圧波形として, Fig. 10 のReferenceとした。商用周波数成分をカットするために, 電源線の電圧測定系にはハイパスフィルタを挿入した。挿入したハイパスフィルタの通過周波数帯域は 9 kHz~ 100 MHzであり, カットオフ周波数は 7 kHzである。

まず, カレントインジェクションプローブを用いて, 先の伝達関数の補正手法によって, 信号発生器での出力波形を求めると, Fig. 11 となる。同波形を用いたときの, 基準接地面と電源線間の電圧波形を Fig. 10 のカレントインジェクションとして示す。イミュニティシステムの伝送特性が補正されて, 出力させたい波形がほぼ出力されている。

次に, CDN-M1, EMクランプを用いて同様の実験を行った。このとき出力させたい波形は, Fig. 10 のReferenceとした。カレントインジェクションプローブの場合と同様に, 伝達関数から信号発生器の出力波形を求めると, Fig. 12 の波形が得られた。これらの波形を信号発生器より出力させたとき, 電源線で観測された波形は Fig. 13 に示された波形となる。ほぼ意図した波形が出力されている。

同様に発生させる波形の周期, peak to peak値を

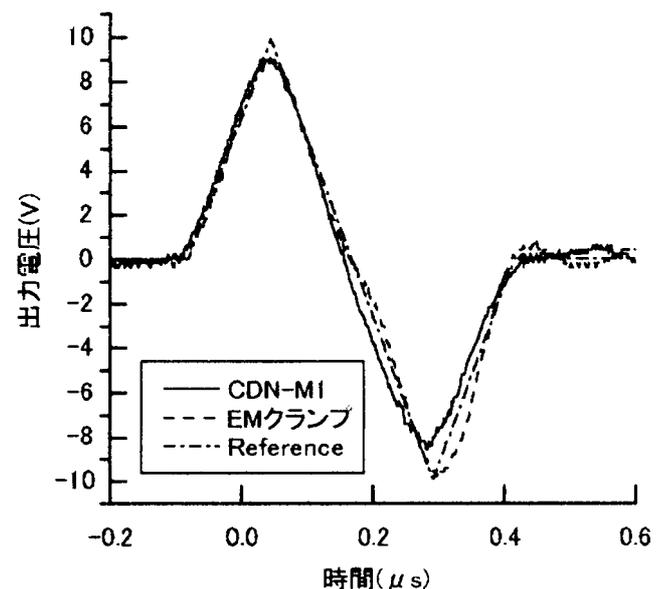


Fig. 13 Output waveform for CDN-M1 and EM-clamp.  
CDN-M1, EMクランプ使用時の出力波形

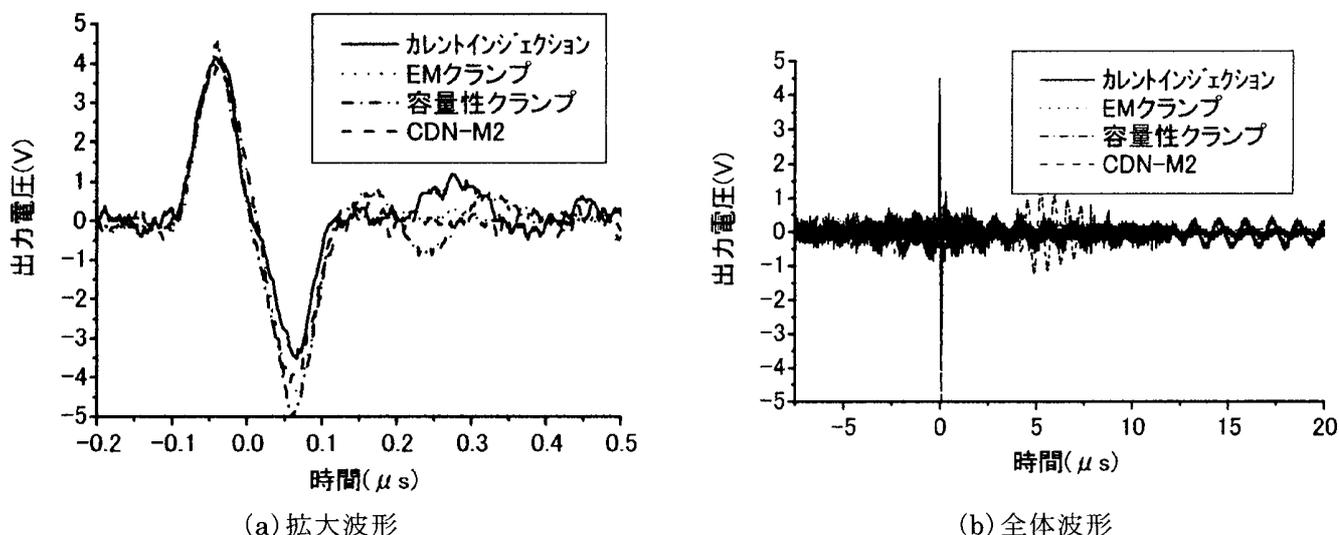


Fig. 14 Re-created waveforms of a 5MHz triangle wave for current injection probe, EM-clamp, capacitive coupling clamp and CDN-M2.

カレントインジェクションプローブ、EMクランプ、容量性クランプ、CDN-M2使用時における5MHzの三角波再現波形

それぞれ 5 MHz, 10 Vとした場合について Fig. 14 (a) に再現波形を示す。意図した波形部分の再現性は比較的良好であるが、全体的な波形でみると信号発生器からの出力開始及び終了時点での不連続な変化に起因した振動波形がみられる場合もある (Fig. 14 (b))。この種の不要な出力を低減するには、フーリエ逆変換後の波形に対して不連続な変化を抑制するための信号処理を付加することなどが必要と考えられる。

以上の波形は各種印加装置の基礎特性を得るため

に行ったが、電磁ノイズの一例としてサージ波形の再現を試みた。約 300 kVに設定された衝撃電圧発生装置を用いて球電極間で火花放電を発生させたときに、電源線に誘起された接地線と電源線間のサージ波形を Fig. 15 に示す。同波形を容量性結合クランプ、CDN-M2, EMクランプ, カレントインジェクションプローブを用いて再現した結果を各 Fig. 16 (a) ~ (d) に示す。サージ発生初期の部分については再現性が低いものの、その後の波形の再現性は比較的良好であり、作業環境の伝導ノイズを再現可能と考えられる。

### 5. むすび

建設用ロボット等の制御装置を対象に生産現場の電磁環境に即したイミュニティ試験法の確立の一環として、および汎用性の拡大を目的として、イミュニティシステム固有の伝達特性によらずに伝導ノイズ波形を生成可能なイミュニティシステムの開発を試みた。まず、汎用ソフトウェアMATLABによって、イミュニティシステム固有の伝達関数を容易に求めることが可能であることを確認した。また、一例としてL, Rからなる試験回路を用い、三角波状電圧波形の出力を試みた。その結果、試験信号印加装置としてCDN-M2, カレントインジェクションプローブ, EMクランプについては、出力させる波形との類似性が高いものであった。

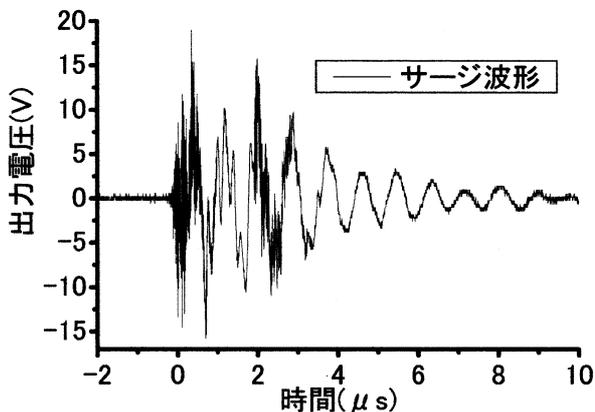


Fig. 15 Surge voltage. サージ電圧

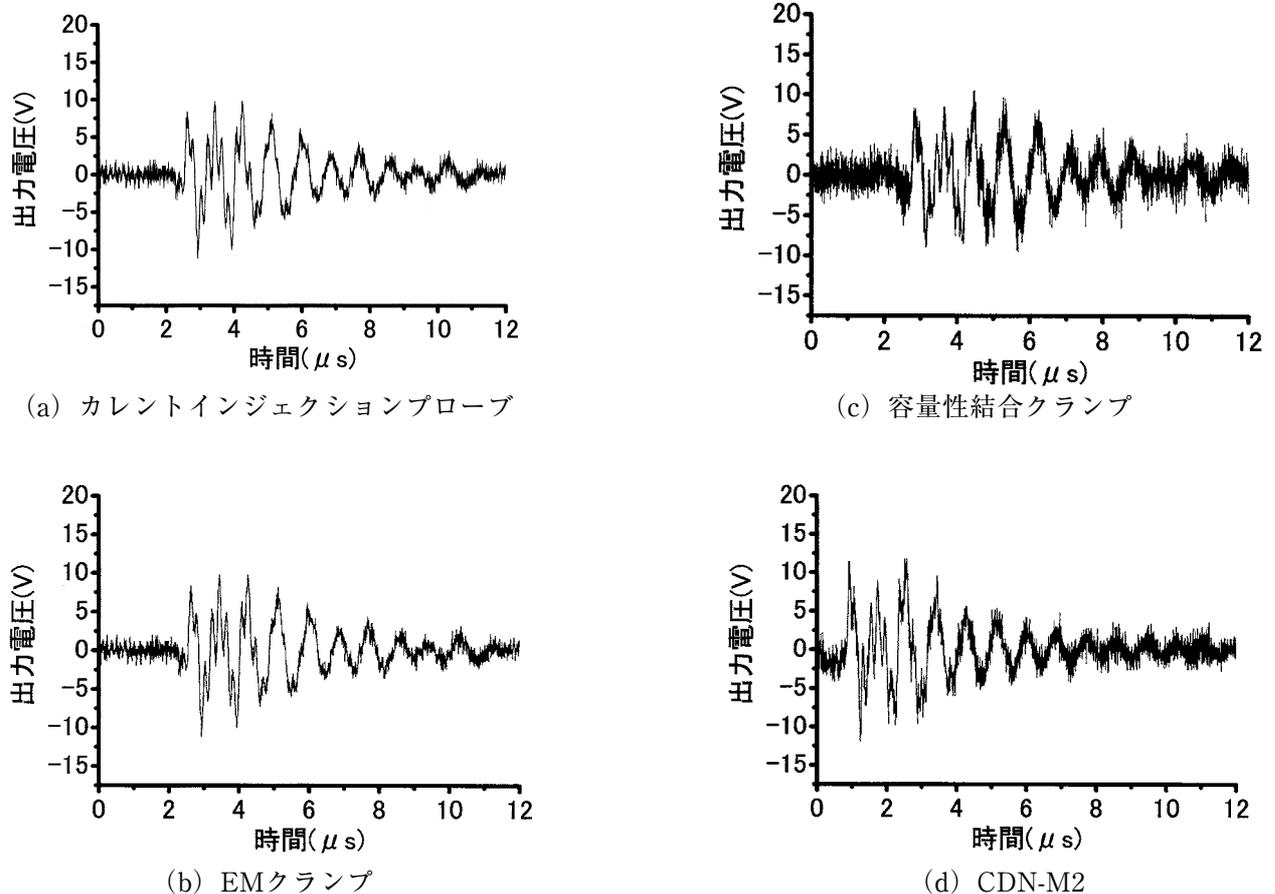


Fig. 16 Re-created surge voltages for current injection probe, EM-clamp, capacitive coupling clamp and CDN-M2. 各種印加装置によるサージ電圧の再現波形

さらに、建設用ロボット等の制御装置への適用性を検討するために、プレス用光線式安全装置の制御回路を対象に、CDN-M2、カレントインジェクションプローブ、EMクランプ、容量性結合クランプを用いて三角波状電圧波形の再現を行い適用性が一部確認された。また機器の設置される電磁ノイズの例としてサージ電圧を再現する実験を行い、これらのイミュニティ試験用印加装置によってほぼサージ波形を再現可能なことが確認された。

以上のように、意図した電圧波形自体の再現性は全体で見ると、比較的良好であった。

なお信号発生器からの出力の開始と終了時点における信号の不連続点において、イミュニティ試験用

印加装置より不要な出力がみられる場合もあった。ソフトウェア処理等によって不要な出力を抑制する手法の検討などが今後の課題と考えられる。

#### 参考文献

- 1) 富田一, "汎用ソフトを用いた伝達特性の補正による電磁ノイズ波形の生成", pp.531~532, 電気・情報関連学会中国支部第52回連合大会 (2001).
- 2) Y.Hotta et al.;"Time Domain EMC Testing System", 1994 International Symposium on EMC, IEICE and IEE (1994).

(平成 14 年 8 月 9 日受理)