

プレス用光線式安全装置の伝導性ノイズに対するイミュニティ*

富田 一**

Electromagnetic Susceptibility of Photo-electric Safety Device for Power Press to Conductive Electromagnetic Disturbance*

by Hajime TOMITA**

Abstract: Recently, electronic equipment, such as industrial robot, is commonly used for enhancement of productivity and reduction of labour. Recent safety devices, such as photo-electric safety devices, have also ICs within. Electronic equipment is susceptible to electromagnetic disturbances because signal level is several volts. To protect electronic equipment against electromagnetic disturbances, many countermeasures are taken, such as ferrite core, line filter, noise cutout transformer and surge absorber. Standard methods for evaluating the susceptibility level of electronic equipment to electromagnetic disturbances are proposed by International Electrotechnical Commission(IEC) and International Special Committee on Radio Interference(CISPR). But electromagnetic susceptibility level on photo-electronic safety device for power press in Japan is not well understood.

In this report, susceptibility level of seven photo-electric safety devices used for power press to conductive electromagnetic disturbances was measured in accordance with methods defined in IEC1000-4-4, MIL-STD-462D and JIS C 1003. Some countermeasures against electromagnetic disturbances were evaluated by applying to photo-electric safety devices.

The principal results are as follows:

- (1) Malfunction of a photo-electric safety device occurred at 1300V by the susceptibility test based on IEC 1000-4-4. The susceptibility level was lower than that in guideline which requires 2 kV in industrial environment.
- (2) All safety equipment tested worked normally when the sinusoidal current whose frequency is less than 5 MHz was injected into a power line. Susceptibility level ranged from 60 dB μ A to 110 dB μ A by virtual value.
- (3) Noise suppression devices could enhance the susceptibility level of photo-electric safety devices up to 2 kV by the susceptibility test based on JIS C 1003. The result also shows that the malfunction of photo-electric safety devices is mainly due to the noise whose frequency is more than several MHz.

Keywords; EMI, Susceptibility, Photo-electric safety device, Bulk cable injection, Electrical fast transient/burst

1. はじめに

プレス作業者の労働災害防止には、手払い式、両手押しボタン式あるいは光線式安全装置が利用されている。

光線式安全装置は、信号処理が高速に実行される等により一般的に利用されているが、信号レベルが10V程度であるため、不要な電磁波（電磁ノイズ）によって誤作動するなどのトラブルが発生している。対策には、サージアブソーバ、フェライトコア、ラインフィルタ等のノイズ対策部品が使用されている。また、対策の一環として、装置が電磁ノイズに対して耐性のあることを試験するイミュニティ試験法が国際電気標準会議

* 平成8年10月9日、第26回安全工学シンポジウムにおいて一部発表した。

**物理工学安全研究部 Physical Engineering Safety
Research Division

(IEC)などで規格化されているが、光線式安全装置については、我が国では電磁ノイズに関する規制が行われておらず、イミュニティ試験もほとんど実施されていない状況にある。ここでは、国内で使用されている7種の光線式安全装置について、伝導性ノイズに対するイミュニティ試験を実施し、誤作動が発生するレベル、誤作動を引き起こす周波数帯、またノイズ対策部品によるイミュニティ向上策等について実験を行ったので、それらの結果について報告する。

2. 実験方法

伝導性ノイズに対する影響を調べるため3つの方法を用いた。一つは、誘導性負荷の遮断時に発生するシャワリングアーク等に対する影響を調べる目的で、我が国において従来より行われている方形波パルスを用いた方法であり、デジタル電圧計試験方法 (JIS C 1003)¹⁾、火災報知設備に係る技術上の規格を定める省令 (自治省令19号 [1977])、電子式郵便料金計器認可基準 (郵政省) 等で規定されている。第二には、第一の場合と同様にシャワリングアーク等に対する影響を調べるためにIECで規格化された電氣的ファースト・トランジェント/バースト²⁾による方法である。第三は、無線機からの電磁波等による影響を調べために用いられているバルクケーブルインジェクション法である。**Fig. 1**に方形波パルス¹⁾及び電氣的ファースト・トランジェント/バースト²⁾を用いた実験装置の概要を示す。アルミニウム製標準グラウンド板上に、方形波パルス発生用のノイズシミュレータ及び高さ10 cmの木製テーブルを設置した。シミュレータの操作盤と光線式安全装置本体との距離は42 cmの一定とし、シミュレータから光線式安全装置への電源線は木製テーブル上に固定した。電源線及び光線式安全装置は、何れも標準グラウンド板端より10 cm内側に設置した。シミュレータから発生する方形波パルスは、50 nsを基本パルス幅とし、標準グラウンド板と電源線の一方との間に印加した。パルスの印加は光線式安全装置の単相電源線の両線に対して行い、プラス及びマイナスの両極性で行った。また、パルス幅の影響を観測するため、400 ns、800 ns及び1000 nsの場合についても実験した。シミュレータの設定電圧は最大2 kVを基本とし、一部は3.2 kVまで実験した。パルスの印加時間は1分間とした。電氣的ファースト・トランジェント/バースト試験も**Fig. 1**と同一の配置条件で行い、シミュレータの電圧はIEC規格で標準的な工場環境に対し規定された試験レベルである2 kVを上限として両極性で行い、電圧印加時間は1点について1分間とした。

一方、バルクケーブルインジェクションによって電

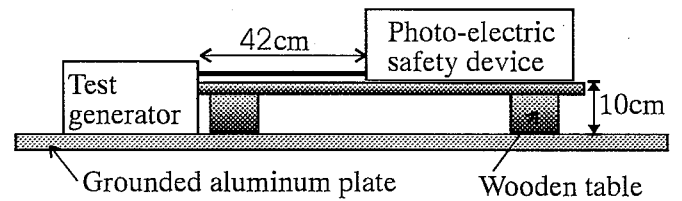


Fig. 1 Experimental set up for susceptibility of photo-electric safety devices to rectangular pulse and EFT/B.

方形波パルス及び電氣的ファースト・トランジェント/バーストに対する実験配置

源ラインに高周波電流を注入する実験は、米国軍用規格 MIL-STD-462D³⁾に準拠した方法を用いた。**Fig. 2**に実験方法の概要を示す。標準グラウンド板として長さ3m、幅1mのアルミニウム板を用い、その上に高さ5 cmの木製テーブルを置き、テーブル上に電源線を固定した。電源線への試験信号の伝搬を防止するために、国際無線障害特別委員会 (CISPR) pub.16で規定された疑似電源回路網 (LISN)を電源線に挿入した。MIL規格では電源線に注入する電流はパルス変調としているが、ここでは周波数の影響を調べるため無変調の正弦波をカレントインジェクションプローブによって注入し、カレントプローブによる検出電流は実効値で測定した。なお、本実験の測定系では、インジェクション及びカレントプローブの何れにも ± 2 dBの誤差がある。

3. 実験結果

プラス50 nsの方形波パルスを印加したときの周波数スペクトルをみると、高周波となるとともに振幅は減少し、200 MHz程度まで分布している。この種の方形波パルスを光線式安全装置に印加したときに誤作動が発生した電圧値を**Table 1**に示す。同表では、 ± 2000 V以上の耐性レベルを示す被試験装置がある一方で、低いものでは+1000V、-1100Vで誤作動が発生している。誤作動はリレーのチャタリングのほか、急停止動作には異常がなくて表示ランプの点滅のみの異常もみられた。パルス持続時間に対しては、持続時間が長くなるとともに誤作動発生電圧が上昇する場合と、その反対の場合もみられ、明らかな相関性はみられなかった。

Table 2には電氣的ファースト・トランジェント/バースト (EFT/B)による結果を示す。この場合にも、 ± 2000 V以上の耐性レベルを示すものがある一方で、+1400V、-1300Vでチャタリングの誤作動するものもある。同表には**Table 1**の結果で最も誤作動の発生した電圧が低かった場合も併記しているが、方形波パルスによる実験結果と同程度であることが分かる。

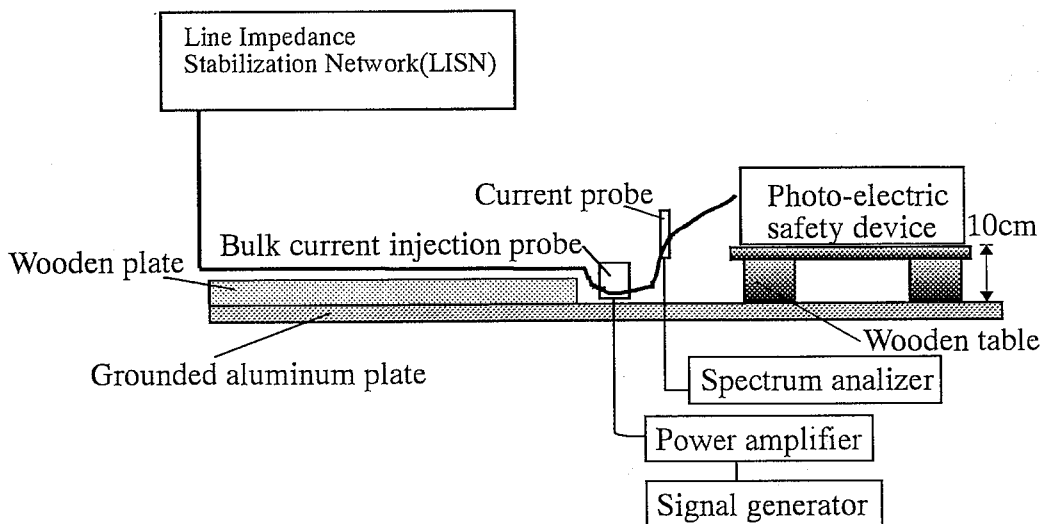


Fig. 2 Experimental set up for bulk cable injection.
バルクケーブルインジェクション法に対する実験配置

Table 1 Susceptibility level of photo-electric safety devices to rectangular pulse.
方形波パルスに対する誤作動レベル

1) In the case of positive pulse

Safety device \ Pulse width (ns)	EUT A	EUT B	EUT C	EUT D	EUT E	EUT F
50	1000 (V)	1500 (V)	>2000 (V)	>2000 (V)	1900 (V)	1850 (V)
400	1050	>2000	>2000	>2000		1900
800			>2000			1400
1000	1500	2000		>2000		

2) In the case of negative pulse

Safety device \ Pulse width (ns)	EUT A	EUT B	EUT C	EUT D	EUT E	EUT F
50	-1100 (V)	-1200 (V)	< -2000 (V)	< -2000 (V)	-3200 (V)	-1300 (V)
400	-1150	-1000	< -2000	< -2000		-2000
800			< -2000			
1000	-1300	-1000		< -2000		

次にバルクケーブルインジェクションによる実験結果を Fig. 3(a)~(c) に示す。印加した 1~400 MHz の正弦波電流に対し、何れの光線式安全装置も 5 MHz 以下の周波数では 100 dB μ A 程度の電流に対して誤作動がみられなかった。5 MHz 以上ではチャタリング、表示ランプの異常等の誤作動がみられ、誤作動の発生レ

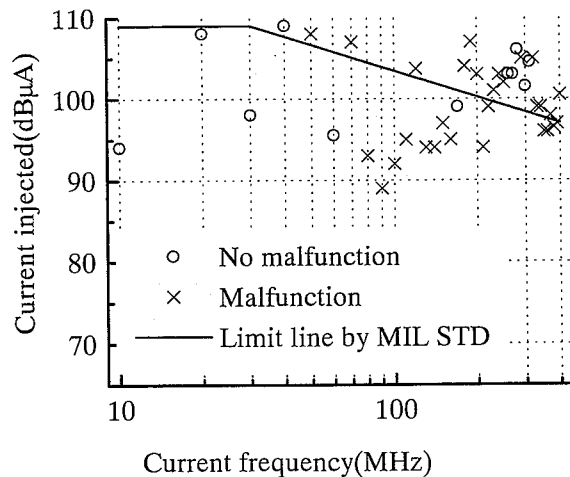
ベルは 60~110 dB μ A に分布している。この値を MIL-STD-461D⁴⁾ で示された最も厳しい条件を要求される航空機に適用される基準 (図に実線で示す) と比較すると、そのレベルより低いレベルで誤作動する装置がみられる一方で (Fig. 3(a),(b)) , ほとんど誤作動のみられないものもあった (Fig. 3(c))。

Table 2 Susceptibility level of photo-electric safety devices to electrical fast transient/burst (EFT/B).
電氣的ファースト・トランジェント/バーストに対する誤作動発生レベル

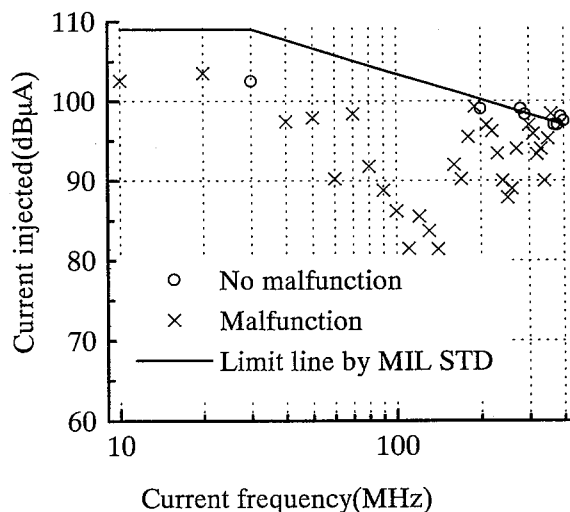
Safety device	Signal	EFT/B (V)	Rectangular pulse (V)
EUT A		+1300 -1700	+1000 -1100
EUT B		+1400 -1300	+1500 -1200
EUT C		> +2000 < -2000	> +2000 < -2000
EUT D		+1800 -1700	> +2000 < -2000

以上のように、被試験光線式安全装置の誤作動は主に 5 MHz 以上の電磁ノイズに起因していると推定されるため、フェライトコア、ラインフィルタ、ノイズカットトランスによるイミュニティ向上を行った。用いたフェライトコアの減衰特性は、トラッキングジェネレータから発生させた信号を平行導線にフェライトを付加したときの減衰特性の測定によって Fig. 4 となった。57 MHz, 180 MHz 帯で共振による増幅がみられる以外では、全般的に抵抗損失による減衰特性を示し、約 75 MHz では 0.2 dB 程度の減衰効果がある。同フェライトの電源線への使用の有無によって光線式安全装置が誤作動したときの印加電圧波形を Fig. 5 に示す。フェライトによってイミュニティレベルが向上している。同図で約 9 MHz より高い部分での印加電圧の振幅スペクトルは同様であるが、それ以下では、印加電圧が高くなるとともに振幅スペクトルも高くなっている。この結果は、光線式安全装置の誤作動が主に 9 MHz 以上の電流によると考えられ、バルクケーブルインジェクションによる結果を裏付けるものとなっている。

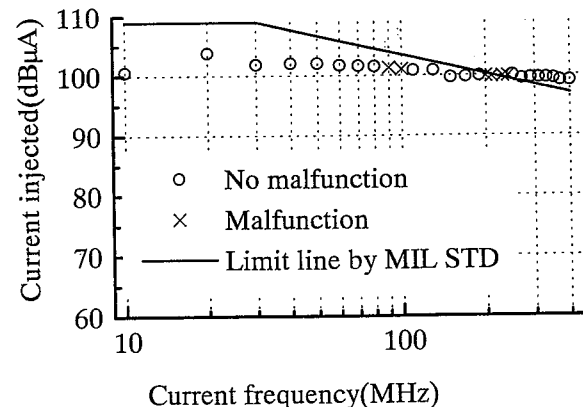
次に遮断周波数が 100 kHz, 減衰量が 60 dB 程度であるラインフィルタを光線式安全装置 B に適用した結果、Table 3, Fig. 6 に示すようにイミュニティレベルが向上した。また、Fig. 7 のように、15 及び 90 MHz 帯を除いて 5~30 dB の減衰を示すノイズカットトランスを用いたところ、方形波パルスによって 1800V で誤作動のみられたものが、2 kV の場合にも誤作動の発生がみられなかった。



(a) EUT F



(b) EUT C



(c) EUT B

Fig. 3 Susceptibility level of photo-electric safety devices to the current injected into the power line. 光線式安全装置のバルクケーブルインジェクション法に対する誤作動レベル

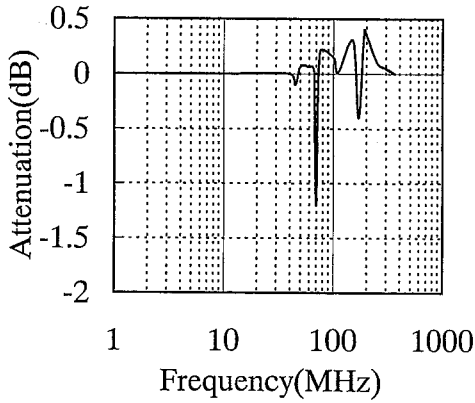
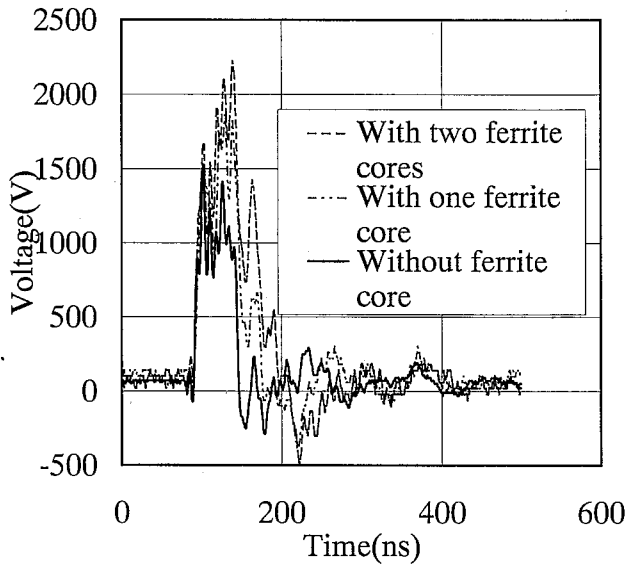
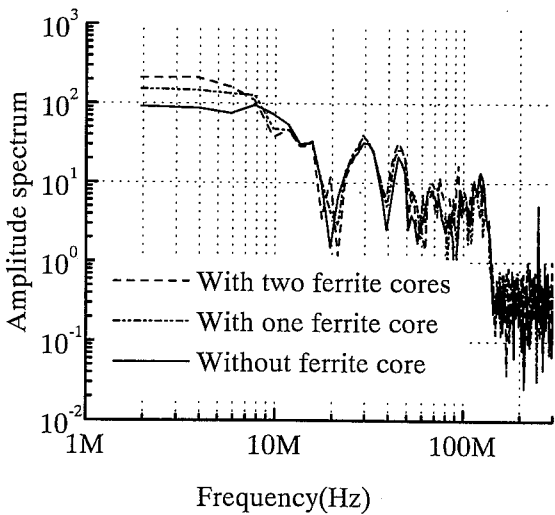


Fig. 4 Attenuation characteristics of ferrite core.
フェライトコアの減衰特性



(a) Voltage wave form



(b) Amplitude spectrum

Fig. 5 Voltage wave form and amplitude spectrum in the case of malfunction of photo-electric safety device A.
光線式安全装置 A の誤作動発生時の電圧波形と振幅スペクトル

Table 3 Susceptibility level of photo-electric safety device B with line filter.
フィルタ使用時の光線式安全装置 B の誤作動レベル

Without filter	With filter
+1500 (V)	1800 (Filter A) >2000 (Filter B) >2000 (Filter C)
-1200 (V)	-1900 (Filter A) < -2000 (Filter B) < -2000 (Filter C)

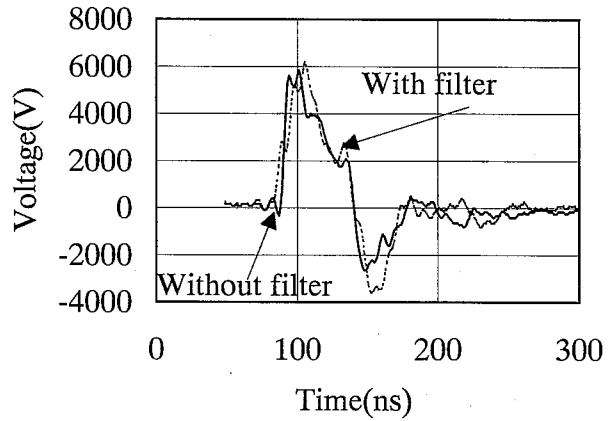


Fig. 6 Voltage wave forms injected into photo-electric safety device B with and without line filter in the case of malfunction.
フィルタの有無による光線式安全装置 B の誤作動発生時の電圧波形

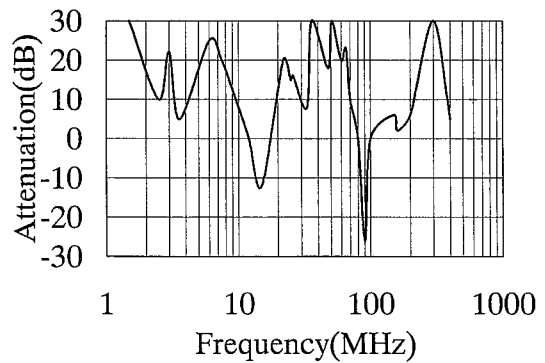


Fig. 7 Attenuation characteristics of noise cutout transformer (Normal mode).
ノイズカットトランスの減衰特性 (ノーマルモード)

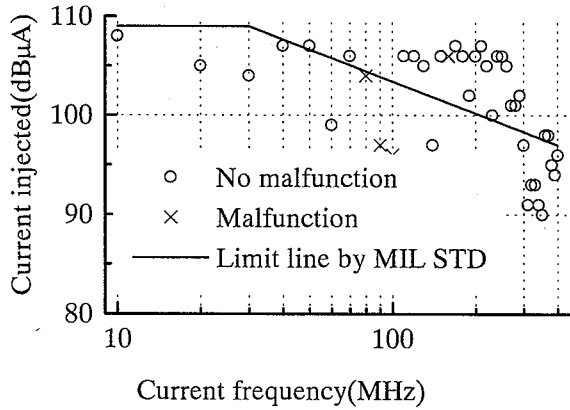


Fig. 8 Susceptibility level of photo-electric safety device B with noise cutout transformer to the current injected into the power line.
ノイズカットトランス使用時の光線式安全装置 B の誤作動レベル

一方、Fig. 7 のノイズカットトランスを用いてパルクケーブルインジェクションによって実験したところ、Fig. 3(c) に比較して 40~220 MHz の周波数範囲でイミュニティレベルの向上がみられ、大部分の周波数帯で MIL-STD-461D で示されたガイドラインを上回る特性が得られた (Fig. 8)。他の光線式安全装置についても同様であった。

3. むすび

プレスに使用される光線式安全装置の誤作動防止を目的に、伝導性ノイズに対するイミュニティレベルを調べた。方形波パルスに対しては、±2000V 以上のイミュニティレベルのものがある一方で、+1000V、-1100V

でリレーのチャタリング、表示ランプの異常等がみられたものもあった。電氣的ファースト・トランジェント/バーストに対しても、±2000V 以上のイミュニティレベルを示す光線式安全装置がみられた一方、1300V 程度で誤作動のみられたものもあった。この結果は IEC 規格 1000-4-4 に示された工業環境での要求試験レベルである 2 kV を下回るものであった。二つの実験によるイミュニティレベルは同程度であった。

一方、光線式安全装置が影響を受けやすい周波数帯の把握を目的に、パルクケーブルインジェクションによるイミュニティ実験を行い、光線式安全装置は数 MHz 以上の周波数の電磁ノイズによって誤作動が発生し、誤作動を引き起こすレベルは 60~110 dBμA 程度であった。これらの結果を踏まえて、ノイズ対策部品であるフェライト、電源ラインフィルタ、ノイズカットトランスを用い、イミュニティレベルの向上を確認した。

参考文献

- 1) デジタル電圧計試験方法, JIS-C-1003 (1994).
- 2) Electromagnetic Compatibility (EMC)-Part4: Testing and Measurement Techniques-Section 4: Electrical fast transient/burst immunity., IEC1000-4-4 (1995).
- 3) Measurement of Electromagnetic Interference Characteristics, MIL-STD-462D (1993).
- 4) Requirements for the Control of EMI Emissions and Susceptibility, MIL-STD-461D (1993).

(平成 9 年 1 月 20 日受理)