

インパルスノイズ試験で使用するカップリング装置について

2021年9月

株式会社ノイズ研究所

商品開発部 石田 武志

1. 背景と概要

インパルスノイズ試験器 INS シリーズは、1970 年代の EMC 黎明期の頃から電源系ノイズの耐性評価をする試験器として用いられてきた。現在の IEC 61000-4 シリーズなどの国際規格が制定される以前の話で、電機メーカーが自主的に試験基準を定め、製品の品質向上に努めていた。この試験は、電源系の伝導性イミュニティの確保が主であるが、信号線に対する耐性評価を実施するためのカップリング装置もラインナップしている。基本的には、信号ケーブルにクランプすることでノイズ印加が可能な構造をとっており、信号線に対するノイズ耐性を手軽に確認することができる。現在販売している表 1 及び図 1 の 2 種類の容量性結合と 1 種類の誘導性結合のカップリング装置の特性と応用例を紹介する。

表 1 カップリング装置の主な仕様とラインナップ

項目	仕様／性能		
	容量性(電界)		誘導性(磁界)
結合方式			
モデル名	CA-805B	15-00014A	15-00007A (CA-806)
最大入力 パルス電圧	4000 V	4000 V	2000 V
入力パルス幅	50 ns～1000 ns		
終端抵抗	内蔵なし		54 Ω
クランプケーブルの 最大直径	26 mm	20 mm	27 mm
電圧結合比	1:1 ¹⁾	1:1 ¹⁾	10:1
外形寸法(mm) (W×H×D)	350 × 120 × 130 (突起含まず)	350 × 145 × 140 (突起含まず)	89 × 64 × 120 (突起含む)
質量	約 3 kg	約 3 kg	約 1 kg

¹⁾ 高インピーダンス、低容量の条件での理想値



図 1 各種カップリング装置の外観

2. カップリングアダプタ CA-805B

かなり古くから製品化していたモデルで、高電圧同軸コネクタの変更で現在の B タイプのモデル名となっている。主に信号線への印加を目的としており、信号線を切断することなくクランプすることでコモンモードの印加ができる。

2.1 構造

二重の円筒(シリンダ)構造で、外側のシリンダが仮想のグラウンドで内側のシリンダが結合部となっている(図 2)。このシリンダが上下 2 分割となって開く構造になっている。ケーブル全体に印加するコモンモード結合となるため、試験はカップリングアダプタを基準グラウンドプレーン上に設置してグラウンド端子を基準グラウンドプレーンと接続する。結合シリンダは、終端抵抗が無いいため、一方の高電圧同軸コネクタにインパルスノイズを注入して、他方の高電圧同軸コネクタをインパルスノイズ試験器本体の終端抵抗に接続する。この終端を行わないと電圧の変化が起こらなくなり試験の効果が無くなる。

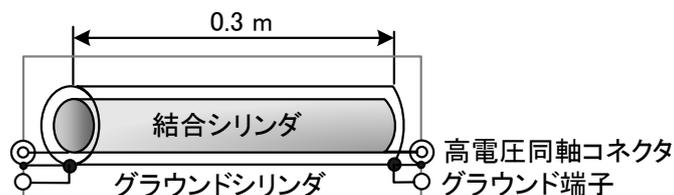


図 2 CA-805B の概略構造

2.2 ワイヤへの印加波形の確認

実際の信号線に印加されるインパルスノイズを想定して図 3 の測定環境でワイヤに誘導する電圧を測定した。基準グラウンドプレーン上にカップリングアダプタ CA-805B を設置し、グラウンド端子は、直近で基準グラウンドプレーンに接続する。インパルスノイズ発生器の(終端しない)パルス出力を CA-805B の一方の高圧同軸コネクタに接続し、もう一方の高圧同軸コネクタをインパルスノイズ試験

器の終端抵抗に接続する。

誘導される信号線を想定して、1.5m の単線ワイヤを CA-805B に通し、グラウンドプレーンから高さ 0.1 m 絶縁支持台上に配置する。結合ワイヤは、内側シリンダに密着する様に、テープで固定し、結合ワイヤの両端は、同じ値の負荷抵抗を接続した。負荷抵抗は、低インピーダンスの電源及びパワー系のインピーダンスを想定した 50 Ω と、信号線のインピーダンスを想定した 4.7 kΩ の二つを設定した。電圧測定は、インパルスノイズ注入の反対側の負荷抵抗の両端で行った。

半導体リレー方式のインパルスノイズ試験器を用いて 1 kV の設定で、パルス幅は、50 ns、200 ns、400 ns、1000 ns で行った。

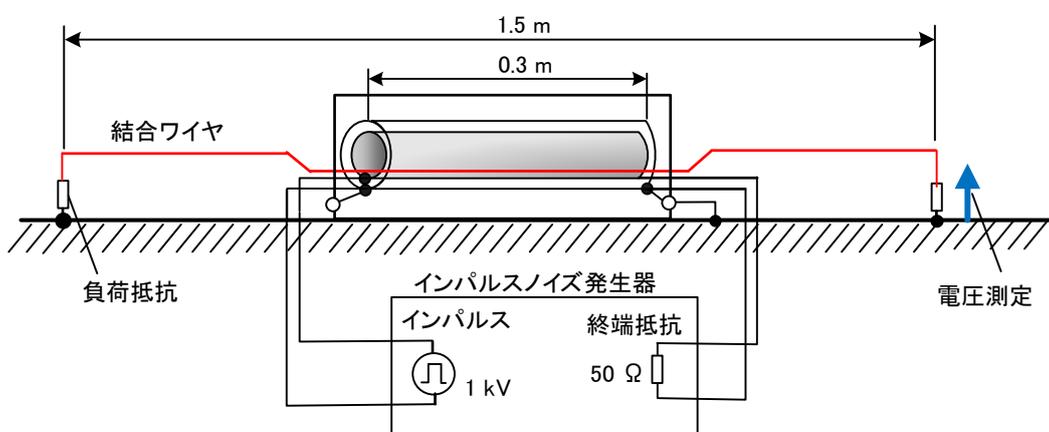


図 3 CA-805B を用いたワイヤ印加の結合電圧の測定方法

図 4 に、両端の負荷抵抗を 50 Ω とした結合ワイヤに誘起する電圧波形を示す。各パルス幅の立ち上がり部で、150 V 程度の電圧が発生し、アンダーシュートの振動が数周期発生している。また 50 ns、100 ns の短いパルス幅では、立ち下り部に負極のパルスが発生している。

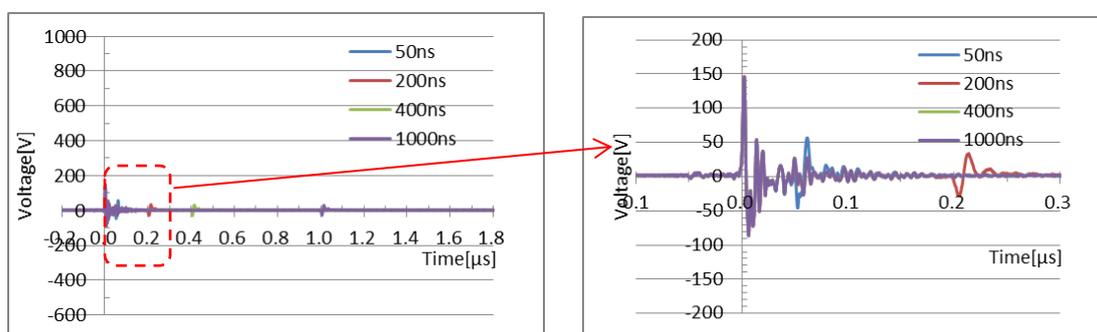


図 4 CA-805B の結合ワイヤに誘起する電圧: 負荷抵抗 50 Ω

図 5 に、両端の負荷抵抗を 4.7 kΩ とした結合ワイヤの電圧波形を示す。1 kV の電圧を印加しておよそ 600 V 程度のピーク電圧が観測されている。50ns の印加パルス幅では、200 V 程度まで方形

波が減衰していることが分かる。インパルスノイズの立ち下りでは、-200 V 程度のアンダーシュートが発生して減衰している。

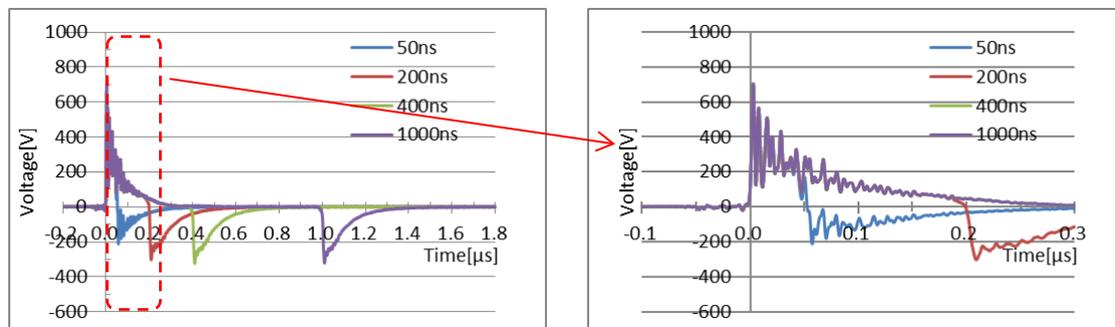


図5 CA-805Bの結合ワイヤに誘起する電圧: 負荷抵抗 4.7 k Ω

3. カップリングクランプ 15-00014A

古くからあるカップリングアダプタ CA-805B を改善したもので、国際規格 IEC 61000-4-4 EFT/B 試験で用いる容量性結合クランプの構造を模擬して、結合部の長さを 1m から 0.3m に短縮した構造となっている。次の項目で CA-805B との違いとその特徴を記述する。

尚、本クランプには、IEC 61000-4-4 の容量性結合クランプと同様に、出力波形確認用のクランプ校正治具 (15-00005A) をオプションとして用意している。

3.1 構造

図 6 に構造の概略図を示す。信号線をクランプする上部の結合板は、蝶番を用いた 2 枚の金属版で上下に挟み込む構造で、信号線と密着することで静電容量が増えより高い結合度を得ることができる。インパルスノイズは、この結合板に印加を行う。底面のグラウンド板は、コモンモード印加の基準電位を決定するもので、基準グラウンドプレーン上に設置するだけでグラウンド接地が完了する。

上部の結合板の長さは 0.3 m で EFT/B 試験で用いる容量性結合クランプより結合容量は 1/3 程度に小さくなるが、短いケーブルや狭い空間のワイヤにも装着することができる。また結合板と基準グラウンドプレーンとの高さは、0.1m としており、一般的な試験に用いる絶縁支持台の高さと一致させている。

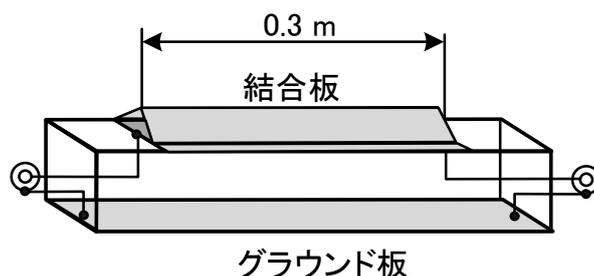


図 6 15-00014A の概略構造

3.2 ワイヤへの印加波形の確認

CA-805Bの電圧測定の確認と同様に、基準グランドプレーン上にカップリングクランプ 15-00014Aを設置し、1.5 mの単線ワイヤをクランプした。結合ワイヤの両側の余り部分は、0.1 mの絶縁支持台上に敷設した(図7)。

結合ワイヤ両端の負荷抵抗は、それぞれ 50Ω と $4.7 \text{ k}\Omega$ に設定した。インパルスノイズ発生器の(終端しない)パルス出力を 15-00014A の一方の高圧同軸コネクタに接続し、もう一方の高圧同軸コネクタをインパルスノイズ試験器の終端抵抗に接続した。インパルスノイズは半導体リレー方式を用いて 1 kV の設定で、パルス幅は、 50 ns 、 200 ns 、 400 ns 、 1000 ns で行った。

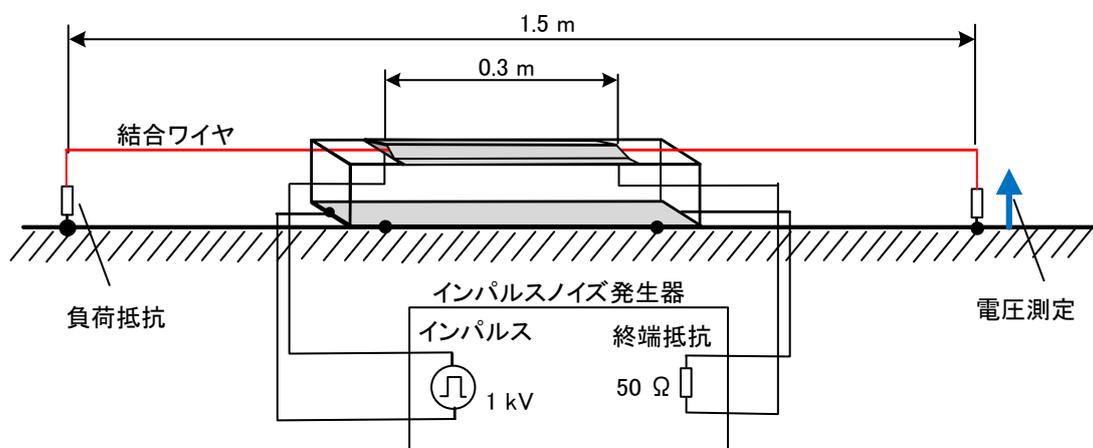


図 7 15-00014A を用いたワイヤ印加の結合電圧の測定方法

50Ω の負荷抵抗では、立ち上がり時に約 185 V のピーク電圧が観測されその後、 -120 V 程度のアンダーシュートが発生している(図8)。 50 ns 及び 100 ns のインパルスの立ち下がり部では、負極の -50 V 程度のパルスが発生している。

なお電圧波形の立ち上がり時間は、 50Ω 負荷では、ほぼインパルスノイズ試験器の立ち上がり時間で立ち上がっている。 $4.7 \text{ k}\Omega$ など抵抗値が高くなると寄生容量の影響が大きくなり立ち上がり時間は鈍化してくる。

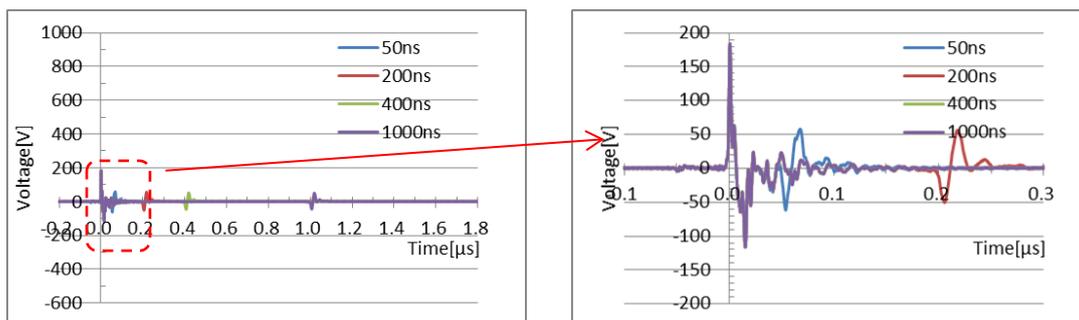


図 8 15-00014A の結合ワイヤに誘起する電圧: 負荷抵抗 50 Ω

両端の負荷抵抗 4.7 kΩ に印加された電圧波形を示す(図 9 参照)。負荷抵抗の値が大きいため、減衰波形のパルス幅も長くオーバーシュート部分を除けば、約 600 V のピークが観測されている(図 9)。

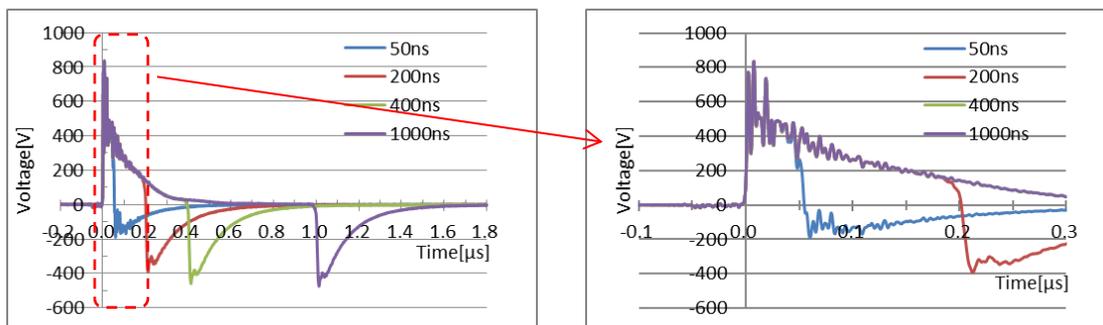


図 9 15-00014A の結合ワイヤに誘起する電圧: 負荷抵抗 4.7 kΩ

4. カップリングアダプタ 15-00007A(CA-806)

これまでの 2 つのカップリングアダプタは、容量性結合の構造であるが、このカップリングアダプタは、磁界結合方式のアダプタとなる。コアを分割してケーブルにクランプすることで信号線、電源線にノイズを注入することができる。なおモデル名の CA-806 は、前述の CA-805B と対比するためのサブモデル名となっている。印加電圧の結合比率は、10:1 となっており例えば 1kV のインパルスを入力したときに、このカップリングアダプタに 1 回通した線に、100 V の電圧が発生する。2 ターンの線には、その倍の電圧が発生する。基本的な考えとしては、トランスを想定していればよい。以前、20:1 の結合比率を持つ CA-803A というクランプがあったが、その特性改善と結合度を変更したものである。

4.1 構造

フェライトコアに巻いた 10 ターンの誘導線にインパルスノイズを印加する(図 10)。誘導線のインパルスノイズの入力側には、終端抵抗が接続されている。コアは半分にカットされ開閉機構により閉じ

たときに磁路が密着する構造になっている。

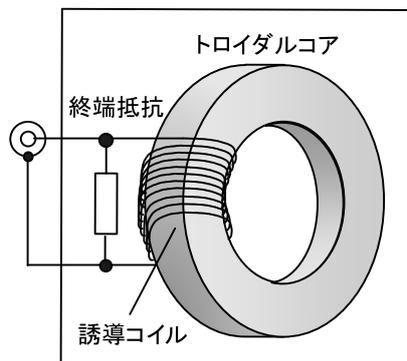


図 10 15-00007A(CA-806)の概略構造

4.2 ワイヤへの印加波形の確認

1 ターンのワイヤに 50Ω の負荷抵抗を接続して、この負荷抵抗に発生する電圧を測定した(図 11)。この試験の場合は、クランプに貫通するワイヤに対してパルス電圧を与えるもので、ノイズの結合はノーマルモードとなり、基準グラウンドプレーンは基本的に不要である。発生するパルス電圧は、結合ワイヤの長さ、負荷抵抗の値に違いに殆ど影響しない。

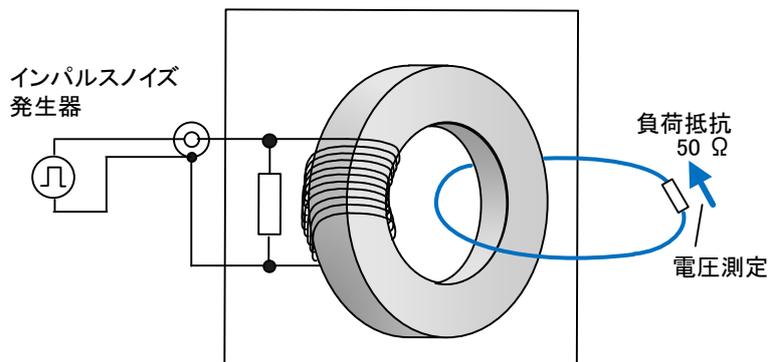


図 11 15-00007A(CA-806)のワイヤに印加する電圧の測定方法

1 kV の 50 ns から 1000 ns パルス幅のインパルスノイズを加え、結合ワイヤの負荷抵抗に発生する波形を図 12 に示す。インパルスノイズの方形波の形が印加されているが、パルスの立ち上がり時間は、およそ 20 ns に鈍化している。

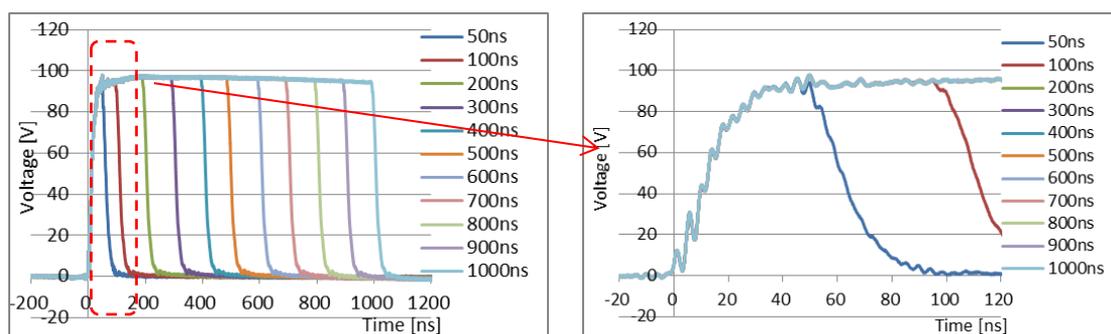


図 12 15-00007A の結合ワイヤに誘起する電圧: 負荷抵抗 50 Ω

5. カップリング装置のまとめ

3 種類のカップリング装置について、その構造と結合ワイヤに誘起する電圧を調査し、結合ワイヤに誘起するピーク電圧を表 2 にまとめた。

CA-805B 及び 15-00014A は、コモンモードに対する電圧で、両端の負荷抵抗が 50 Ω のときは、150 V～185 V のピーク電圧が観測された。4.7 kΩ 負荷の時は 500V～600V (オーバーシュート分を除く) となり、結合容量の大きい 15-00014A の方が、高い電圧を示している。基本的にインパルス波形の立ち上がり立ち下がりにそれぞれ正極と負極の微分波形が表われており、負荷抵抗 4.7 kΩ の高いインピーダンスの方が、幅広い減衰波形となっている。

誘導結合の 15-00007A では、1 kV の印加に対して 94V 程度 (結合比 10:1 で 100V) のピーク電圧が観測されている、波形は、インパルスノイズ発生器の方形波の形がそのまま出力されているので、波形のエネルギーは大きいことになる。

表 2 カップリング装置で結合ワイヤに誘起されるピーク電圧

モデル名 負荷抵抗	CA-805B	15-00014A	15-00007A (CA-806)
50 Ω	150 V	185 V	94 V
4.7k Ω	500 V	600 V	-

6. カップリング装置を使用した試験

インパルスノイズ試験は、国際規格の対応はなく、日本電機工業会 (JAMA) 「産業用に用いる電気機器の方形波インパルスノイズ免疫試験指針」JEM-TR177 (2007 年改正、2020 年追補 1) 及び日本電気制御機器工業会 (NECA) 「工業用に使用される電気制御機器の方形波インパルスノイズに対する免疫試験ガイドライン」NECA TR-28 (2006 年改正) にガイドラインとしての要求がある。前者の試験指針では、CA-805B を用いた信号線の試験、後者のガイドラインでは、CA-805B 及び 15-00007A (CA-806) を用いた信号線の試験法を記述している。

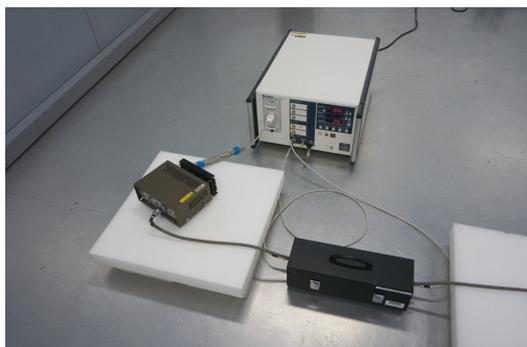
これらのカップリング装置を用いての試験の位置づけは、定型の規格規定より、フィールドで発生する不具合に対する再現試験としての利用が望まれる。ケーブルをクランプするだけなので、手軽に再現試験を行うことができる。

CA-805B、15-00014A は、容量性のコモンモードクランプのため、電圧ノイズ印加を目的とした結合方式でありインピーダンスの高い信号ラインに対して有効な印加方式で、基準グラウンドを何処に設定するかが重要となり、大きな装置や機械装置では、ラックやフレームなどを基準グラウンドとして接続する。デスクトップ装置のインターフェースケーブルなどでは、アルミ板などを机の上に敷き、仮想グラウンドを設定して試験する。

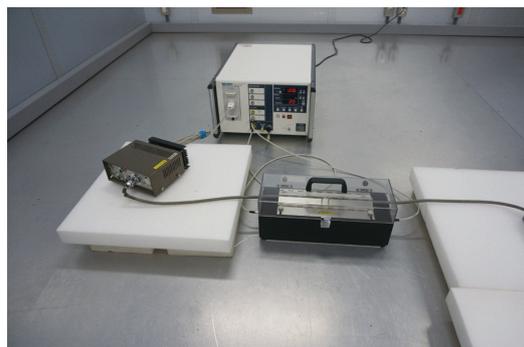
15-00007A (CA-806)は、電流ノイズ印加を目的とした結合方式であり信号ラインのインピーダンスにあまり影響されず、またグラウンドを気にせず狙ったワイヤにクランプして試験を行うことができる。

信号ケーブルに印加するときは、ケーブルの束全体をクランプする方法と、束の中の1線だけクランプする方法がある。通常外来ノイズは、ケーブルの束全体に結合するコモンモード結合が主であるが、一線だけに印加することで、ノーマルモード的な印加になる。

製品のトラブルシューティングとして活用し、問題解決につながることを期待する。



信号ポートへの試験例 (CA-805B)



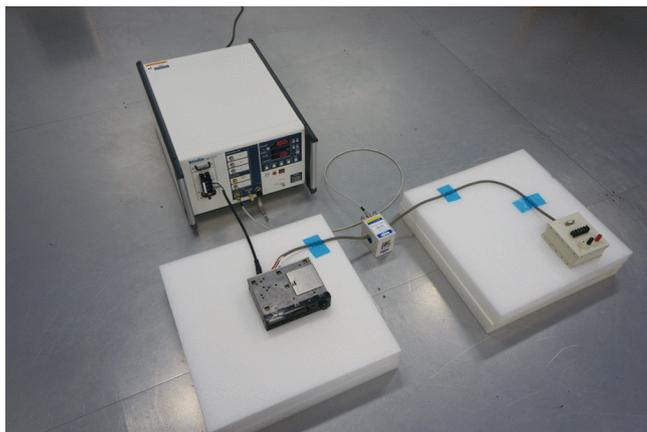
信号ポートへの試験例 (15-00014A)



信号ポートへの試験例 (15-00007A (CA-806))



信号ポートへの試験例 (15-00007A (CA-806))



信号ポートへの試験例(15-00007A(CA-806))
※グラウンドプレーン上の設置は基本的には不要