

産業用高遮へいイーサネットケーブルの開発

Development of High Performance Shield Ethernet Cable

山崎 泰誠 小林 敬久 森下 裕一 宮口 幸一
 Hiroyoshi YAMAZAKI Yoshihisa KOBAYASHI Yuichi MORISHITA Koichi MIYAGUCHI

産業用オープンネットワークに使われるイーサネット伝送用の高遮へいケーブルを開発した。本産業用イーサネットケーブルは、様々なネットワークにも対応できるように2対及び4対の製品ラインアップをそろえた。これらのケーブルは、Category 5e以上の伝送特性だけでなく、耐ノイズ性能・耐油性能・垂直トレイ難燃性能を有している。特に、耐ノイズ性能を考慮して、ケーブル構造をアルミポリエステルテープと編組の二重遮へい構造とした。また、シース材料には耐油・難燃ポリ塩化ビニルを用いている。今後、工場内のネットワークの高度化が進むにつれ、本ケーブルが幅広く使われていくものと期待されている。

High performance shield ethernet cables in industrial open-networks have been developed. In consideration of conforming to various industrial network systems, we have designed two types of cable, which are 2-pair and 4-pair type cables. These cables can be transmitted on Category 5e, and also have good performances of resistance for electrical noises, machine oils and vertical-tray flame retardant. Especially, the shield of the cables consists of double structure of aluminum-polyester tape and braided shield against electrical noises. And the sheath material is polyvinyl chloride for oil resistance and flame retardance. In near future, the cables will be widely utilized in factories with advancing industrial networks.

1. はじめに

産業用オープンネットワークシステムは、自動車組立てや半導体製造など工場内のFA（Factory Automation）ネットワークシステムのひとつとして幅広く使われている。このFAネットワークシステムは、PLC（Programmable Logic Controller）という小型コンピュータを中心にロボット、センサー、安全装置等の制御を行っている。工場内という特殊な環境で使用されるため、ネットワークは独自の

伝送技術やシステム設計で構築され発展してきた。

現在の産業用オープンネットワークシステムは、図1に示すようにコントロールレベル、デバイスレベル、センサレベルといった3つの階層に区分されている。これらのネットワークシステムの初期段階は、デバイスレベルのネットワークの構築が行われた。例えば、ODVA協会のDeviceNetやCC-Link協会のCC-Linkなどがある。当社でもこれらのシステムに使われるケーブルの開発・販売を行

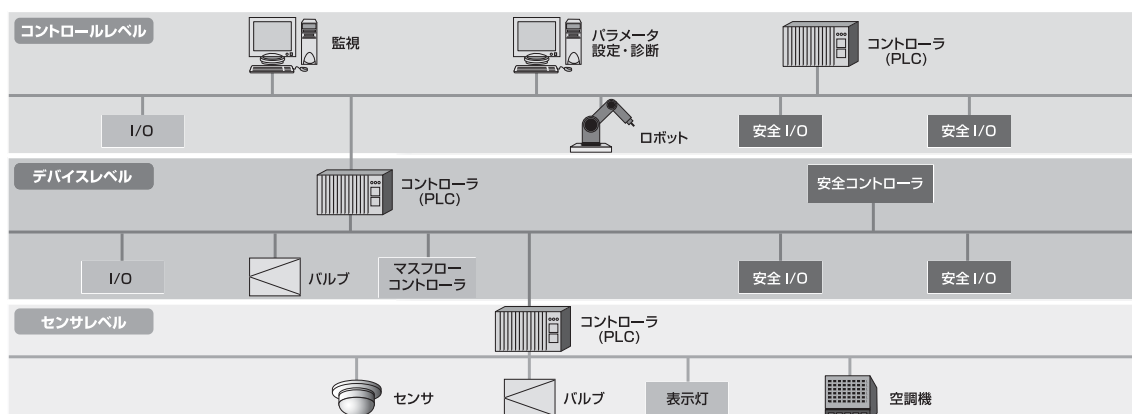


図1 産業用オープンネットワークシステムの階層

ってきた^{1), 2)}。デバイスレベルのネットワークでは、要求される伝送速度は100 kbpsから10 Mbps程度の速度であるが、高ノイズ環境下での伝送が可能ことや、定められた時間内に制御が完了するように通信の定時性の確保が要求されている。またデバイスレベルのシステムの普及と同時にセンサレベルのネットワークも構築され、近年ではコントロールレベルの構築が盛んに行われている。

イーサネット (Ethernet) は、コンピュータネットワークとしてオフィスや家庭をはじめ世界中で一般的に広く使われているLAN (Local Area Network) の規格である^{3), 4)}。FAネットワークの中ではオフィス内のネットワークとして生産管理等の業務に使用されていたイーサネットが、現在ではコントロールレベルの階層にも適用され始めている。またコントロールレベルの下位層であるデバイスレベルにもイーサネット化の波が及んでいる。

FAシステムの中で使用されるイーサネットでは、そのほとんどが100 Mbpsでの伝送速度が要求されており、LANのオフィス用配線規格であるANSI/TIA-568-C規格等のCategory 5e (以後Cat. 5eと表記) 以上の性能を有するケーブルであれば、適用が可能となる。しかしながら、オフィスや家庭内とは異なり、工場内のネットワークシステムでは、伝送速度だけでなく、前述の工場内のモーターやインバーターなどで発生する電磁ノイズ下でも安定に通信可能なことや通信の定時性が要求されている。

今回、我々は産業用オープンネットワークで最適なイーサネット用ケーブルを開発した。本ケーブルは、Cat. 5eを十分満足する特性を有し、コントロールレベルだけでなくデバイスレベルでも適用可能である。本報告では、今回開発した2対タイプ産業用高遮へいイーサネットケーブルFAE-5002とともに、従前より開発・販売している4対タイプ産業用高遮へいイーサネットケーブルFAE-5004⁵⁾の主な設計内容及び各種特性の評価結果を述べる。

2. 開発内容

2.1 目標性能

FAネットワークに使われる産業用イーサネットケーブルのCat. 5eの要求電気特性を表1に示す。産業用LANネットワークで要求される通信技術及び速度は、10 BASE-T, 100 BASE-TX, 1000 BASE-Tと3種類ある。10 BASE-T, 100 BASE-TXはそれぞれ通信速度が10 Mbps, 100 Mbpsの通信技術であり、通信方式は送信側に1対、受信側に1対が固定されている。このため適用するケーブルの対数は2対となる(図2)。大半のFAネットワークではこの技術を適用している。一方、1000BASE-Tは通信速度が1 Gbpsの通信技術で、一部のFAネットワークがこの技術を適用している。通信方式は1 Gbpsを250 Mbps×4分割して4対並列に送受のやりとりをするため、適用ケーブルの対数は4対が必須となる(図3)。また現状10 BASE-T, 100 BASE-Tの通信技術を採用して2対ですむケースでも、将

来の1000 BASE-Tへの拡張を見越して4対を採用することもある。

適用される産業用オープンネットワークシステム毎の要求、及び想定される使用条件から必要と考えられる内容は、①使用長が最大100 m, ②耐ノイズ性を考慮した二重遮へい, ③コネクタに適合する導体サイズ, ④従来の産業用ネットワークケーブルと同等な耐油特性及び難燃性となる。

表1 要求電気特性

項目	目標設定値
導体抵抗	$\Omega/100\text{ m}$ 9.38 以下
導体抵抗不平衡	% 5 以下
静電容量	nF/100 m, 1 kHz 5.6 以下
静電結合	pF/100 m, 1 kHz 330 以下
特性インピーダンス	Ω 1 ~ 100 MHz 100±15 Ω
リターンロス	dB 1 ~ 10 MHz: 20+5 log (f) 以上 10 ~ 20 MHz: 25 以上 20 ~ 100 MHz: 25-7 log (f/20) 以上
挿入損失	dB/100 m, 1 ~ 100 MHz 1.967 \sqrt{f} +0.023 \cdot f+0.050/ \sqrt{f} 以下
近端漏話減衰量	dB, 1 ~ 100 MHz 35.3-15 log (f/100) 以上
電力和近端漏話減衰量	dB, 1 ~ 100 MHz 32.3-15 log (f/100) 以上
ACRF	dB/100 m, 1 ~ 100 MHz 23.8-20 log (f/100) 以上
PSACRF	dB/100 m, 1 ~ 100 MHz 20.8-20 log (f/100) 以上
伝播遅延時間	ns/100 m, 1 ~ 100 MHz 534+ (36/ \sqrt{f}) 以下
Skew	ns/100 m, 1 ~ 100 MHz 45 以下

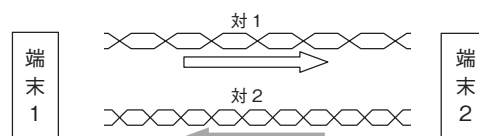


図2 10 BASE-T, 100 BASE-TXの通信方式

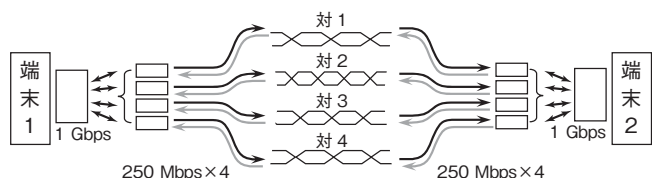


図3 1000 BASE-Tの通信方式

2.2 ケーブル構造

2対タイプのFAE-5002及び4対タイプのFAE-5004のケーブル構造を表2に、ケーブル断面図を図4に示す。10 BASE-T, 100 BASE-TX用として2対、1000 BASE-T用として4対を開発した。

導体サイズは、2対タイプのFAE-5002では22 AWG, 4対タイプのFAE-5004では24 AWGとした。これは、Cat.5eの挿入損失規格値から考慮する導体抵抗損失値が、24 AWG単線導体より小さいことが求められ、太い導体サイズが必須となるからである。

絶縁体にはポリエチレンを用い、特性インピーダンスを考慮した絶縁外径とした。FAE-5002の撚合構造は、ケーブル外径を細くするためにカッド撚構造とした。また

FAE-5004は、対より線を4本撚り合わせる構造とした。

遮へいは、工場内のモーターやインバーターなどで発生する電磁ノイズの影響を考え、アルミポリエステルテープと錫めっき軟銅線編組の二重遮へい構造とした。そして、シース材料は、産業用オープンネットワークのイーサネット化がデバイスレベルにまで及んでいることを考慮し、従来のデバイスレベル用ケーブルに適用した耐油特性と耐燃焼特性を有した材料を選定した¹⁾。

表2 FAE-5002とFAE-5004の構造表

項目	構造								
当社型名	FAE-5002				FAE-5004				
導体	サイズ	22 AWG (7本/0.26mm)				24 AWG (1本/0.51mm)			
	材質	軟銅線							
絶縁体	材質	ポリエチレン							
	標準外径	1.5mm				1.0mm			
対数	2P				4P				
各対色別	対番号	1	2	1	2	3	4		
	第一種心線	青	黄	白/青	白/橙	白/緑	白/茶		
	第二種心線	白	橙	青	橙	緑	茶		
遮へい①	アルミポリエステルテープ								
遮へい②	錫めっき軟銅線編組								
シース	材質	耐油耐熱ポリ塩化ビニル							
	標準外径	6.3mm				6.6mm			

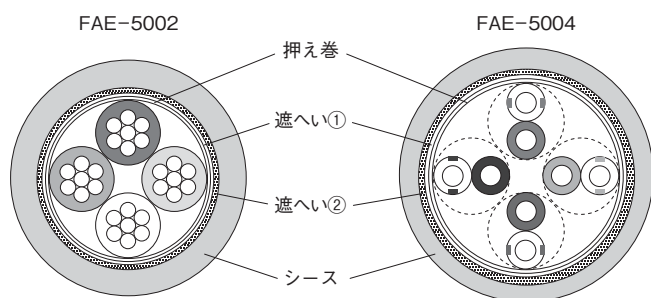


図4. FAE-5002とFAE-5004の構造図

3. 評価結果

3.1 挿入損失

FAE-5002及びFAE-5004の挿入損失結果を図5に示す。両ケーブルともにCat.5eの要求特性値を満足している。また、FAE-5002の挿入損失は、FAE-5004に比べ小さい値となっている。これは、導体サイズがFAE-5002の方が太いため、導体抵抗損失が小さいからである。このことから、FAE-5004に比べFAE-5002の方が耐ノイズ性に優れていることがわかる。ただし、FAE-5004は、1000 BASE-T対応であるため、高速伝送という点ではFAE-5002に比べ有利となる。

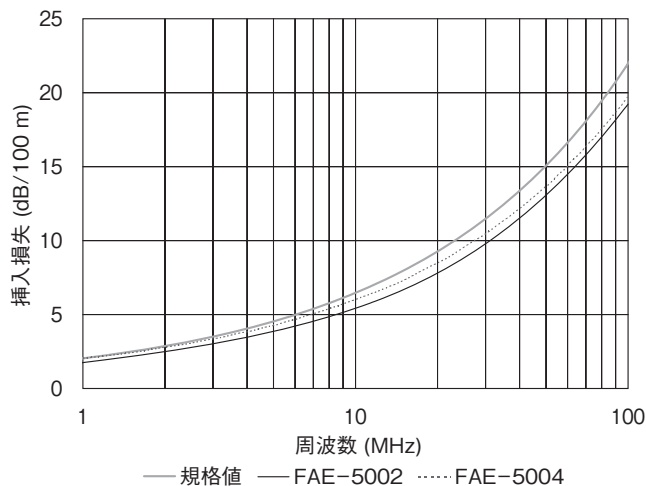


図5 挿入損失

3.2 その他の電気特性

表1に示した他の電気特性についても、両ケーブルともにCat.5eの要求特性値を十分余裕を持って満足した。一例として代表的な特性である近端漏話減衰量の測定結果を図6に示す。

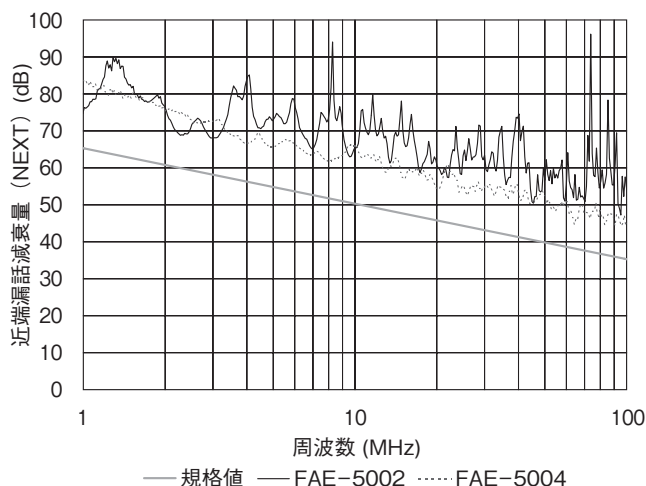


図6 近端漏話減衰量

3.3 耐ノイズ性能

今回、FAE-5004の耐ノイズ性を評価した。比較として、FAE-5004と同じ導体サイズ及び4対絶縁構造で、遮へい構造が異なる4種類のケーブルを用いた。評価したケーブルの遮へい構造の違いを表3に示す。

評価法としては、IEC 61156-1規格の吸収クランプ法を用いた。その模式図を図7に示す。吸収クランプ法とは、ケーブルに任意の周波数で入力した信号が、ケーブル内側から遮へい層とシースを介した外側に対し、どの程度漏洩して吸収クランプに受信されたかを計る測定法である。遮へい効果は測定された放射電力の値が低いほど良いといえる。なお、ここでの基準ノイズとは、評価を行なった電波暗室内でノイズ源が何も無い時（ケーブルに信号を何も入力していない時）に検出された値である。

表3 遮へい材料組合せ

サンプル	遮へい材料 ポリエステルテープ	片面アルミ ポリエステルテープ	両面アルミ ポリエステルテープ	編組
GECL-9004R (比較用当社無遮へい品)	—	—	—	—
GECLS-9004 (比較用当社従来遮へい品)	1層	—	—	—
検証用試作品1	2層	—	—	—
検証用試作品2	1層	1層	—	—
FAE-5004	1層	—	—	1層

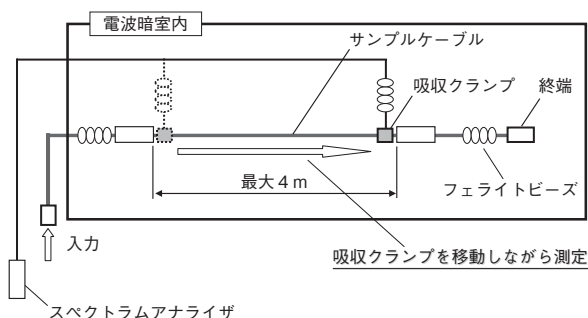


図7 吸収クランプ法 (測定イメージ)

各ケーブルの放射電力の周波数依存性を図8に示す。放射電力は、無遮へいケーブル(当社製品:GECL-9004R)、一層アルミポリエステルテープによる遮へいケーブル(当社製品:GECLS-9004)、そして二層遮へい構造の順に小さくなる。また、二層遮へい構造の中ではアルミポリエステルテープ+編組の組合せのFAE-5004が、格段に放射電力が小さくなる。つまり、本遮へい構造が電磁ノイズに対し遮へい効果が高いことがわかる。

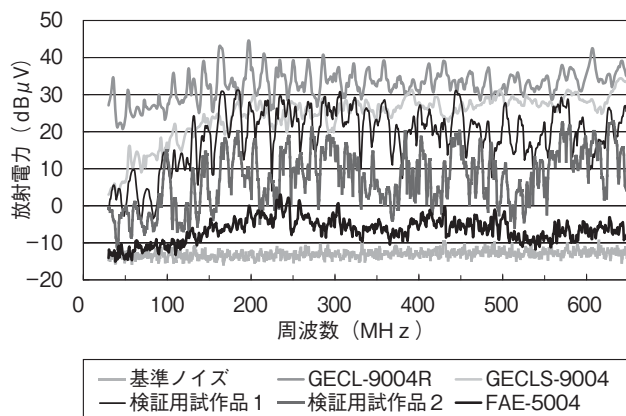


図8 各種遮へい構造と遮へい効果

3.4 燃焼特性

FAE-5002及びFAE-5004は、工場内配線という用途から火災時の延焼を防ぐために、高い難燃性能が求められる。今回、産業用ネットワークケーブルに一般的に求められる

IEEE383垂直トレイ燃焼試験を実施し、合格することを確認した。(図9)

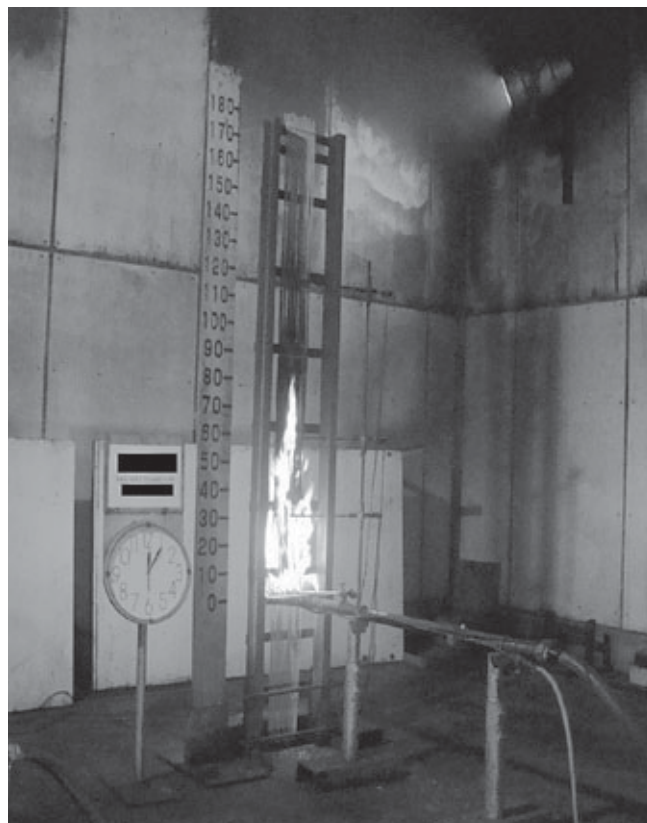


図9 燃焼試験状況

4. まとめ

今回開発した2対の産業用イーサネットケーブルFAE-5002は、各種産業用オープンネットワークシステムのコントロール層において、特に10BASE-T、100BASE-TXの通信技術を適用した2対の伝送が想定される場面に最適な特性を有していることが確認できた。1000BASE-TXの通信技術を適用したシステムに対しては既に開発済の4対ケーブルFAE-5004が好適であり、今回のFAE-5002の開発によってほとんどの産業用オープンネットワークのコントロール層に、それぞれの通信技術に最適なケーブルを提供することが可能になった。今後、本産業用イーサネットケーブルが幅広く使われていくものと思われる。

参考文献

- 1) 森利明, 他: 昭和電線レビュー, Vol.55, No.1, p.25 (2005)
- 2) 昭和電線レビュー, Vol.60, p.71 (2014)
- 3) 山崎泰誠, 他: 昭和電線レビュー, Vol.50, No.1, p.60 (2000)
- 4) 河田正義, 他: 昭和電線レビュー, Vol.58, No.1, P.44 (2008)
- 5) 昭和電線レビュー, Vol.55, No.1, p.38 (2005)

昭和電線ケーブルシステム(株)

山崎 泰誠 (やまざき ひろよし)

産業機器電線事業開発PJ 主査

新製品および新事業のための開発・設計に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

小林 敬久 (こばやし よしひさ)

通信システムユニット 技術部 技術課 主査

情報通信ケーブルの開発・設計に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

森下 裕一 (もりした ゆういち)

博士 (工学)

通信システムユニット 技術部長

情報通信ケーブルの開発・設計に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

宮口 幸一 (みやぐち こういち)

営業本部 営業技術部 主幹

情報通信ケーブルの営業技術業務に従事