

国際標準化活動報告

IEC 61326-2-7 Ethernet-APLのEMC試験規格紹介

IEC TC65 国内委員会

1. はじめに

Ethernet-APL (Advanced Physical Layer) は、プロセスオートメーション (PA) 分野における次世代の通信基盤として注目を集めており、今後、PA機器への本格的な適用が進んでいくことが期待されている。従来、PA業界ではFOUNDATION™ Fieldbus (FF) やPROFIBUS PAといったフィールドバスが広く使用されてきたが、Ethernet-APLはそれらと同様に2線式配線での電力供給と通信を可能としつつ、Ethernet技術をフィールドレベルまで拡張するものである。このため、通信プロトコルは上位互換的に置き換わりつつ、フィールド機器のハードウェアインターフェイスとしては、従来のフィールドバスに代わってEthernet-APLが主流になっていくと考えられている。

このようにEthernet-APL対応機器の普及が進む中で、その信号・電源を共用するポートに対して、どのような電磁環境適合性 (EMC: ElectroMagnetic Compatibility) 試験を実施し、どのように性能判定を行うべきかを明確に定めた規格の重要性も高まっている。

測定・制御、医療、実験室用の各機器を対象としたEMC試験規格にIEC 61326: Electrical equipment for measurement, control and laboratory use -EMC requirements- シリーズがある。このシリーズはそれぞれの製品が使用される環境や用途を考慮したEMC試験条件および判定基準を定義する国際標準規格である。特に欧州では、EMC指令によりEMC試験の実施が法的に要求されており、IEC 61326シリーズの内容を採用したEN規格が、欧州整合規格に位置付けられてきた。

本稿では、IEC 61326シリーズの中に新たに設けられた、Ethernet-APL対応機器のポートを対象としたEMC試験規格 IEC 61326-2-7: Electrical equipment for measurement, control and laboratory use - EMC requirements - Part 2-7: Particular requirements - Test configurations, operational conditions, test levels and performance criteria for devices with Ethernet-APL interfacesに着目し、その位置付けや特徴、試験条件および判定基準について紹介する。

2. Ethernet-APLの概要

これまでPAプラントにおいて、爆発性雰囲気が存在する現場の最下層、すなわちフィールド機器には、本質安全防爆設計を前提とした2線式計器が広く用いられてきた。2線式計器は、電源を供給する配線に測定値を電流信号 (4-20mA信号) として重畳する方式であり、1960年代に導入されて以来、現在に至るまでPA分野のフィールド機器の基本形として使用され続けている。

この2線式計器の流れを受け、PA業界におけるデジタル通信は、4-20mA信号に重畳するHART (Highway Addressable Remote Transducer) 通信や、本質安全防爆に対応した2線式通信であるFFやPROFIBUS PAを総称した2線式フィールドバスが主流となってきた。しかし、これらの通信方式はいずれも通信速度が遅く、HARTでは約1.2kbps、FFおよびPROFIBUS PAでも31.25kbpsにとどまっている。また、2線式フィールドバスはIPアドレスやMACアドレスといった、インターネット接続に不可欠な概念を持たないことから、IT系システムとの直接的な連携には本質的な制約があった。

その結果、デジタルトランスフォーメーション (DX) への要求が高まる中においても、フィールドバスが中心のPAプラントの最下層を構成するフィールド機器は、依然としてネットワーク化や大容量データ活用の流れから取り残された状態が続いていた。

この状況を打開するため、2018年にPA機器ベンダーと、主要な産業用Ethernetプロトコルを開発・管理する4団体が協力し、PA用途に適したEthernet物理層を開発する「APL Project」が開始された。APL Projectの目的は、コントローラーからフィールド機器までをEthernetで直接接続可能とし、かつPA特有の要求事項を満たす物理層を実現することにあった。

このAPL Projectにより開発された物理層規格がEthernet-APLである。Ethernet-APLはIPアドレスおよ

びMACアドレスを持つ標準Ethernetでありながら、図1で示すように、①本質安全防爆への対応、②長距離通信、③電源供給と通信を一对のケーブルで実現する2線式構成、というPA分野固有の要求事項を満たしている点に大きな特徴がある。



図1 Ethernet-APLの開発要件

APL Projectは、2022年までに2線式Ethernet物理層仕様であるEthernet-APLを完成させるとともに、4団体による物理層認証試験規格および相互認証の仕組みを構築し、その目的を達成した。これによりEthernet-APLは、単なる仕様にとどまらず、相互接続性を担保した実用的な技術基盤として整備された。

現在では、Ethernet-APLに対応したフィールド機器が世界各国のPA機器ベンダーから販売され始めており、今後さらなる市場拡大が見込まれている。

Ethernet-APLの標準的な構成例を図2に示す。Ethernet-APLのネットワークは、幹線を意味するTRUNKと、枝線を意味するSPURにより構成される。TRUNKは比較的大きな電力を長距離にわたって伝送可能であり、図2に示すAPL FIELD SWITCHが接続される。一方、SPURはAPL FIELD SWITCHから各APL FIELD DEVICEへ電力と通信を供給する区間の配線であり、1台のフィールド機器に必要なエネルギーのみを供給すればよい。

SPURは本質安全防爆に対応するため、信号振幅が1.0V_{p-p}に制限されており、最大伝送距離も200mと規定されている。これに対し、TRUNKでは信号振幅が2.4V_{p-p}、最大伝送距離は1,000mまで許容されている。

なお、図2中に示すAPL FIELD SWITCHおよびAPL FIELD DEVICEはいずれもIEC 61326-2-7のEMC試験対象機器であり、それぞれTRUNKおよびSPURポートを必要数備えた機器として規定されている（APL FIELD DEVICEはSPURポート1つに限定される）。

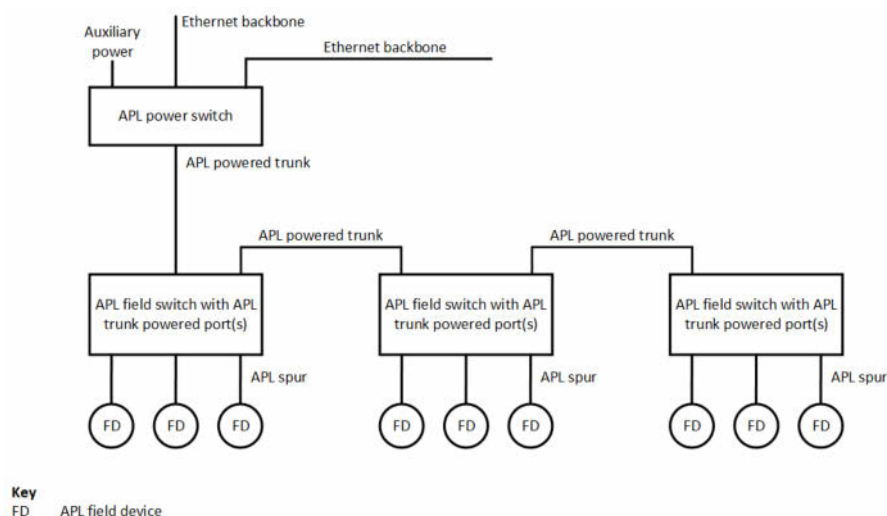


図2 Ethernet-APLの標準的なシステム構成

3. IEC 61326シリーズの構成とIEC 61326-2-7の位置付け

IEC 61326シリーズは、「計測用、制御用および試験室用の電気装置」を対象としたEMCの要求事項を定義する製品群規格である。本シリーズでは、外来電磁波に対する機器の耐性を評価するイミュニティ（Immunity）試験と、機器自体が発生する電磁妨害を規制するエミッション（Emission）試験の双方について要求事項が規定されている。

EMCに関する国際標準規格としては、IEC 61000 Electromagnetic compatibility (EMC) -4-xに代表される基本規格や、IEC 61000-6-xの共通規格が存在する。これらは試験方法や判定基準の基本的枠組みを定義するものである。一方、IEC 61326シリーズのような製品群規格は、特定の製品群に固有の使用環境や用途を考慮して試験条件を定めるものであり、原則として基本規格や共通規格よりも優先して適用される。なお、実際の試験方法や判定基準自体は基本規格IEC 61000シリーズに定義されており、製品群規格IEC 61326シリーズでは、それらを選択的に参照する形で構成されている。

図3にIEC 61326シリーズの全体構成を示す。本シリーズの中核をなす規格がIEC 61326-1（General requirements）であり、この規格ではシリーズ共通の基本的な試験の考え方、試験条件および判定基準などが定められている。IEC 61326-1はフレームワークとしての性格が強く、具体的な試験条件や試験セットアップの詳細については、試験者が装置の構成や使用形態を踏まえて決定することが求められる。

一方で、このような柔軟性は試験条件やセットアップの解釈にばらつきが生じる要因ともなり得る。特に、同一カテゴリーの機器であっても、試験機関や試験者によって異なる条件で試験が実施される可能性があり、必ずしも同等な評価が行われないという課題が指摘されてきた。こうした解釈の余地を排除し、特定の機器群について一貫したEMC評価を行うために策定されたのが、IEC 61326-2-xの一連の規格である。

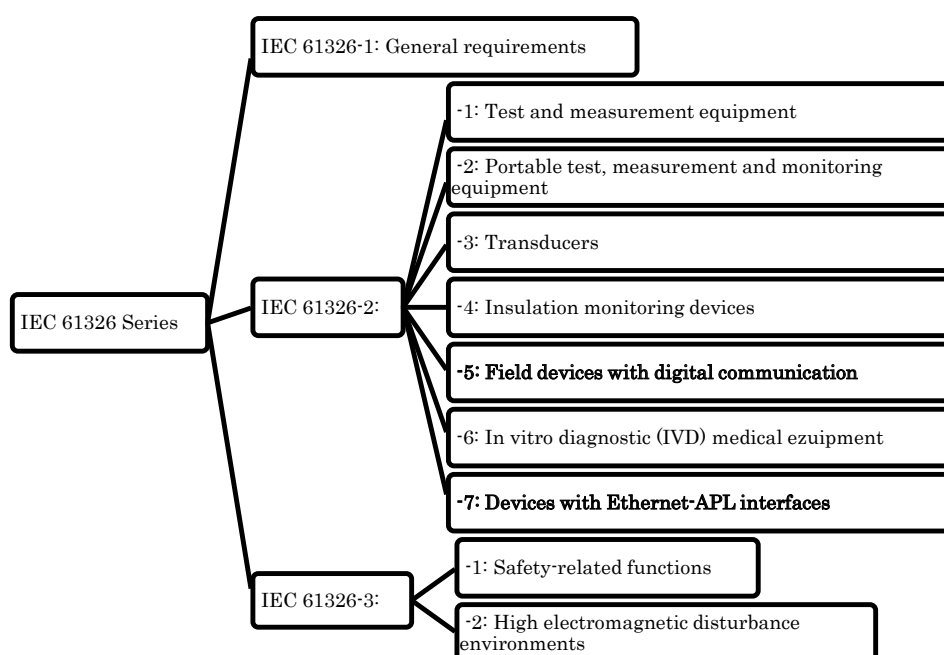


図3 IEC 61326シリーズの構成

IEC 61326-2-xでは、対象となる機器の種類ごとに、試験条件や試験セットアップ、判定基準がより詳細に規定されている。例えば、IEC 61326-2-1は試験・計測用装置、IEC 61326-2-2はポータブル計測およびモニタリング装置を対象としている。また、PA分野において特に重要な規格がIEC 61326-2-3であり、「補助電源を用いて非電気をプロセス関連の電気信号に変換し、ポートから出力する変換器」、すなわち一般的なフィールド機器を対象としたEMC試験条件が規定されている。

このIEC 61326-2-xシリーズの中で、デジタル通信を有するフィールド機器を対象とした規格がIEC 61326-2-5である。本規格では、FFやPROFIBUS PAを有するフィールド機器に対する試験方法および試験条件が定義されている。これらの通信方式では、複数のフィールド機器とホスト機器が中継機器（カプラー）

を介して同一のバスに接続される構成となっているため、バスに接続されたいずれかの機器のEMC性能が低い場合、システム全体のEMC性能が低下したと判断される可能性がある。そのため、IEC 61326-2-5では、個々の機器に対して統一されたEMC要求を定めることで、フィールドバスシステム全体としてのEMC性能を担保することを狙いとしている。

IEC 61326シリーズは、国際規格としての側面に加え、欧州EMC指令と密接に関係する欧州整合規格としての役割も担っている。本シリーズは、原則として同一内容のままEN IEC 61326シリーズとして発行され、欧州官報に掲載されてきた。欧州において販売される電気・電子機器は、EMC指令に基づき、官報に掲載された整合規格に従ってEMC試験を実施し、その適合性を証明する必要がある。PA分野の機器については、EN IEC 61326シリーズが適用規格として官報に掲載されており、欧州で事業を展開するベンダーは、欧州域外の企業であっても本シリーズに基づくEMC評価を行う必要がある。なお、本稿で取り上げるIEC 61326-2-7は、2025年12月にIS（国際規格）として発行されたばかりであり、現時点ではEN規格が発行されておらず、欧州EMC指令に基づく試験規格としてはまだ使用できない点に注意が必要である。

Ethernet-APLを用いたシステムにおいても、各機器のEMC性能が個別に、かつ解釈の余地なく評価されなければ、ネットワークに接続された機器全体に影響が及ぶ可能性がある。このため、Ethernet-APL専用のEMC試験規格としてIEC 61326-2-7が新たに策定され、FFやPROFIBUS PAに続く通信物理層向けのEMC規格として期待されている。

ただし、IEC 61326-2-5がFFやPROFIBUS PAのように、物理層と通信プロトコルが一体として定義されている規格を対象としているのに対し、Ethernet-APLはあくまでもEthernetの物理層のみを規定する概念である。この構造上の違いから、Ethernet-APLに関するEMC試験要求はIEC 61326-2-5に含めるのではなく、新たにIEC 61326-2-7として独立した番号で定義されることとなった。

4. IEC 61326-2-7 Ethernet-APL試験条件

IEC 61326-1では、EMC試験を実施するにあたり、試験対象機器であるEUT（Equipment Under Test）と、EUTに通常接続され、かつ試験中も共に動作する周辺機器であるAE（Auxiliary Equipment、図4のEUT以外）をどのように接続するかを、試験者があらかじめテストプランとして定義することが求められている。

また、Ethernet-APLのように通信機能を有する機器のEMC試験では、試験中にどのような通信を行うか、すなわち通信データの長さ、送信間隔、通信の種類、さらには通信状態をどのように監視・判定するかについても、テストプランに明確に記載する必要がある。

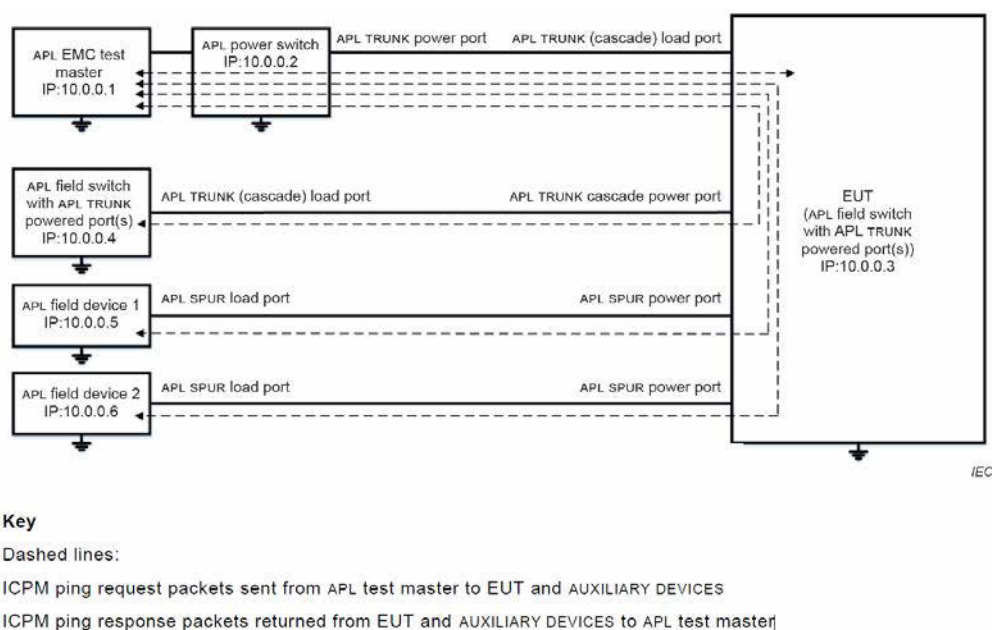


図4 APL EMC TEST MASTER Communication

しかしながら、通信内容や監視方法を試験者の裁量に委ねた場合、試験条件にばらつきが生じ、結果として同一機器であっても異なる評価結果を招く恐れがある。IEC 61326-2-7では、こうしたばらつきを排除するため、テストプランに記載すべき内容そのものを具体的に規定している点に大きな特徴がある。

IEC 61326-2-7では5.1項に、EUTと通信を行う相手機器として、APL EMC TEST MASTERが定義されている。APL EMC TEST MASTERは、Ethernet-APLの通信リンクが維持されていることを確認するための最低限の通信を送信し、試験中にEUTからの応答が正常に返ってくるかどうかをモニタする役割を担う。

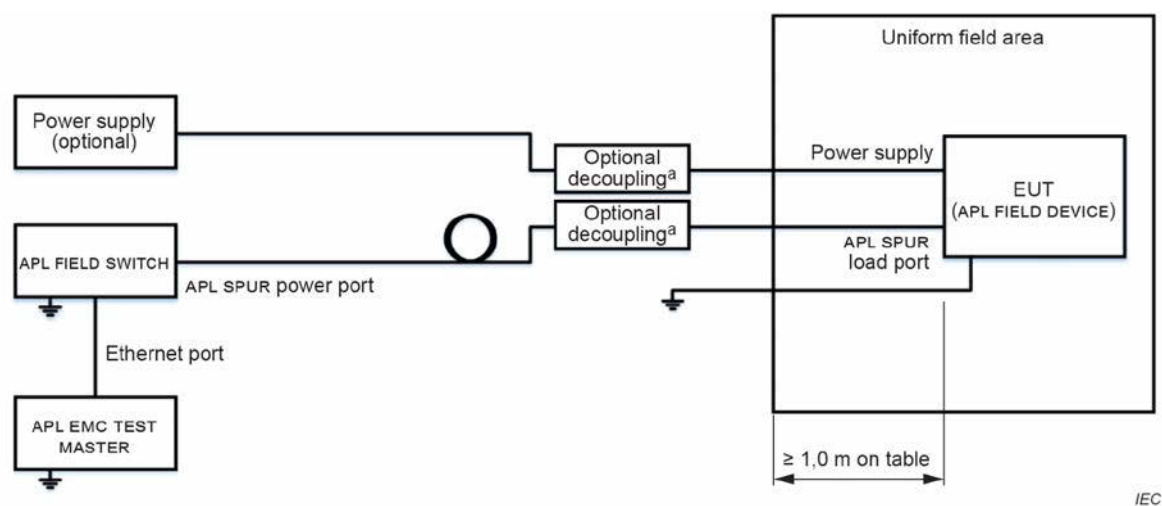
EUTがAPL FIELD DEVICEの場合は、APL FIELD SWITCHがAEとしてAPL EMC TEST MASTERの機能を担い、EUTがAPL FIELD SWITCHの場合には、APL FIELD DEVICEがAEとなる。これにより、試験者が独自に通信内容や監視方法を設計する必要がなくなり、試験条件の解釈による差異を最小化することが可能となっている（図4）。

IEC 61326シリーズにおけるEMC試験の要求事項は、大きくイミュニティ試験とエミッション試験に分類される。エミッション試験は、機器が外部に放出する電磁妨害を測定する試験であり、比較的標準化された条件で実施される。一方、外来電磁ノイズに対する耐性を評価するイミュニティ試験については、試験の種類ごとに試験条件やセットアップが大きく異なるため、規格内でより詳細な記述がなされている。

イミュニティ試験には、静電気放電、放射無線周波電磁界、無線周波伝導妨害、バースト、サージ、電源周波数磁界、電圧ディップおよび短時間停電など、合計8種類の試験が含まれる。IEC 61326-2-7では、これらの各イミュニティ試験について、Ethernet-APL機器に対してどのような試験セットアップで評価すべきかを詳細に規定しており、さらにEUTがAPL FIELD DEVICEの場合とAPL FIELD SWITCHの場合とで、それぞれ個別に試験構成が示されている。

これらの試験セットアップや試験条件は、IEC 61326-1で求められているテストプランに具体的に反映させることとなるが、その内容はIEC 61326-2-7により明確に規定されているため、試験者による解釈の余地は限定的となる。

本稿では、すべてのイミュニティ試験について詳細説明は述べないが、代表的な例として、APL FIELD DEVICEをEUTとした場合の放射無線周波電磁界試験のセットアップ例を図5に示す。



^a May contain ferrite beads or other decoupling measures.

図5 Radiated RF test setup for an APL FIELD DEVICE with APL PORT and optional power supply port

5. IEC 61326-2-7の2種類のテストレベル、判定基準

IEC 61326-2-7のもう一つの特徴として、各イミュニティ試験に対して2種類のテストレベルおよび判定基準が規定されている点が挙げられる。これらは6.3.1項に示されており、Table3には「INDUSTRIAL ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENT」、Table4には「SPECIFIED ELECTROMAGNETIC PROCESS CONTROL ENVIRONMENT」に対するイミュニティ試験要求がそれぞれ定義されている。

この2つの表を比較すると、Table 4に規定されたテストレベルおよび判定基準は、Table3に比べてより厳しい内容となっている。IEC 61326-2-7では、最低限としてTable3に基づく試験を実施すれば規格適合とみなされる一方で、より厳しい電磁環境を想定する場合には、Table4の試験レベルを任意（Optional）で選択可能としている。

Table3に規定されたテストレベルは、これまでのIEC 61326シリーズや、それに整合した欧州規格（EN IEC 61326シリーズ）において長年使用されてきた、いわば標準的な産業環境を想定した試験レベルである。一方、Table4に規定されたテストレベルおよび判定基準は、ドイツの化学工業関連企業を中心とする業界団体であるNAMURが独自に定めているEMC要件NE21に対応した内容となっている。

特定の業界団体が策定した要件が、IECのような国際標準規格の本文中に取り込まれることは決して一般的なことではなく、読者の中には違和感を覚える方もいるかもしれない。しかしながら、Table4に示された内容は、今回新たに導入されたものではなく、すでにIEC 61326-3-1やIEC 61326-3-2に規定されているSafety-related functionを対象としたEMC試験規格の中で、同様の考え方に基づくテストレベルとして採用された実績がある。

また、Ethernet-APLそのものが、プロセスオートメーション分野、とりわけNAMURが強く要望してきた要求事項を背景として開発された経緯を持つ点も重要である。そのため、従来の産業環境向けの試験レベルに加え、より厳しい電磁環境を想定したNAMUR NE21相当の試験レベルを選択可能なオプションとして規格に明示的に取り込むことは、Ethernet-APLの成り立ちや適用分野を踏まえれば、合理的な判断であるといえる。

このように IEC 61326-2-7では、従来のIEC 61326シリーズとの整合性を保ちつつ、プロセスオートメーション分野特有の要求にも対応可能な枠組みとして、2種類のテストレベルおよび判定基準を規定している。

6. おわりに

本稿では、Ethernet-APL対応機器を対象としたEMC試験規格であるIEC 61326-2-7について、その策定背景や規格の位置付け、ならびにEMC試験条件の特徴を紹介した。Ethernet-APLの開発経緯や、EMC試験の実務に踏み込んだ内容としたため、規格本文に記載されているすべての要求事項を網羅することはできなかったが、Ethernet-APL機器のEMC試験を計画・実施する立場にある読者にとって、本稿が理解の一助となれば幸いである。実際の試験にあたっては、本稿と併せてIEC 61326-2-7の本文を参照されることを推奨したい。

Ethernet-APLは、今後さらに対応製品や対応プロトコルの種類が拡大し、世界的にも普及が進んでいくものと予想される。また、Ethernet-APLと並行して、IEEE 802.3で定義されている汎用的な電源方式であるPoDL（Power over Data Line）を採用し、FA（Factory Automation）やBA（Building Automation）分野への適用も視野に入れたEthernet-SPE（Single Pair Ethernet）の検討も進められている。これらの技術についても、今後順次 IEC規格化や関係団体による認証制度の整備が進められていくと考えられる。

将来的には、こうしたEthernet-SPEを対象としたEMC 試験方法が、IEC 61326-2-7に追記・拡張されていく可能性も想定される。Ethernetをフィールドレベルまで適用する技術の進展に伴い、EMC試験規格もまた継続的に進化していくことが期待される。

執筆

IEC TC65/SC65A/WG4, SC65C/WG9, SC65C/JWG10, TC31/SC31G/MT60079-47 国際エキスパート

横河電機株式会社

遠藤 太郎