

D

IEEE-488 バスの概要

はじめに

基本的に、IEEE-488 バスは、2 台以上の電子デバイスの間の通信システムにすぎません。デバイスというのは、計測器でも、またコンピュータでもよいのです。コンピュータをこのバス上で使用する場合、バスはすべてのデバイスの間での通信のやりとりを監視する役目を果たし、コントローラと呼ばれます。コントローラによる監視の内容は、どのデバイスがトークし、どのデバイスがリスンするかを決めることです。トーカとしてのデバイスは情報を出力し、リスナとしてのデバイスは情報を受け取ります。デバイスを追跡するタスクを単純化するために、それぞれのデバイスに固有のアドレス番号を割り当てます。

バスの上では、トークすることができるデバイスは一度に 1 台に限られ、トークするようにコントローラから呼びかけを受けます。トーク中のデバイスは、アクティブトーカと呼ばれます。トーカからの情報にリスンする必要のあるデバイスは、コントローラから、リスンするように呼びかけを受けます。この場合、それぞれのリスナは、アクティブリスナと呼ばれます。リスンする必要のないデバイスは、リスンしない（アンリスン）ように命令を受けます。アンリスン命令を発する理由は、リスニングタスクがバス時間をふさがないように、バスの情報転送速度を最適化するためです。

制御ラインを使用することにより、トーカからリスナへの情報転送プロセスの中で、ハンドシェークシーケンスが発生します。このハンドシェークシーケンスは、情報転送の信憑性の確認を容易にします。アクティブコントローラ（トーカ）とリスナとの間の基本ハンドシェークシーケンスは次のとおりです。

1. リスナは、リスンする準備が完了したことを表示します。
2. トーカはデータのバイトをバスに乗せ、このデータをリスナが利用できることを表示します。
3. データが利用可能なことを認識したリスナは、そのデータを受け入れ、続いてデータを受け入れたことを表示します。
4. データが受け入れられたことを認識したトーカは、データを送ることを停止し、データが送られてないことを表示します。
5. バスにデータがないことを認識したリスナは、次のデータのバイトを受け入れる準備が完了したことを表示します。

バスの概要

IEEE-488 バスは、しばしば GPIB (汎用インタフェースバス) と呼ばれますが、これは、過度の数のバスラインを使用せずにデータ転送を最適化するための並列転送媒体として設計されました。この目的に沿うように、このバスは 8 本のデータラインを備えるだけで、これらのラインはデータ用にも、またほとんどのコマンドともいっしょに使用されます。5 本のバス管理ラインと、3 本のハンドシェークラインが、必要な数のバス信号ラインに加わります。

動作制御用の代表的なセットアップを、図 D-1 に示します。一般に、1 つのシステムは、1 つのコントローラと、コマンドを受ける複数の計測器で設定されます。デバイスの動作は、3 つの動作要素、すなわちコントローラ、トーカー、リスナに分類されます。コントローラはその名が示すように、バス上の計測器をコントロールします。トーカーはデータを送り、リスナはデータを受け取ります。計測器の種類によって、あるデバイスはトーカーだけに、あるデバイスはリスナだけに、またはリスナ、トーカー両方になります。

コントローラには、システムコントローラと基本コントローラの 2 種類があります。どちらもほかの計測器を制御することができますが、システムコントローラだけがシステムの中では絶対権限を持ちます。2 個以上のコントローラを備えるシステムでは、ある時点でアクティブなコントローラはただ 1 個だけです。ある種のプロトコルを使用して、制御権を一つのコントローラから別のコントローラに渡します。

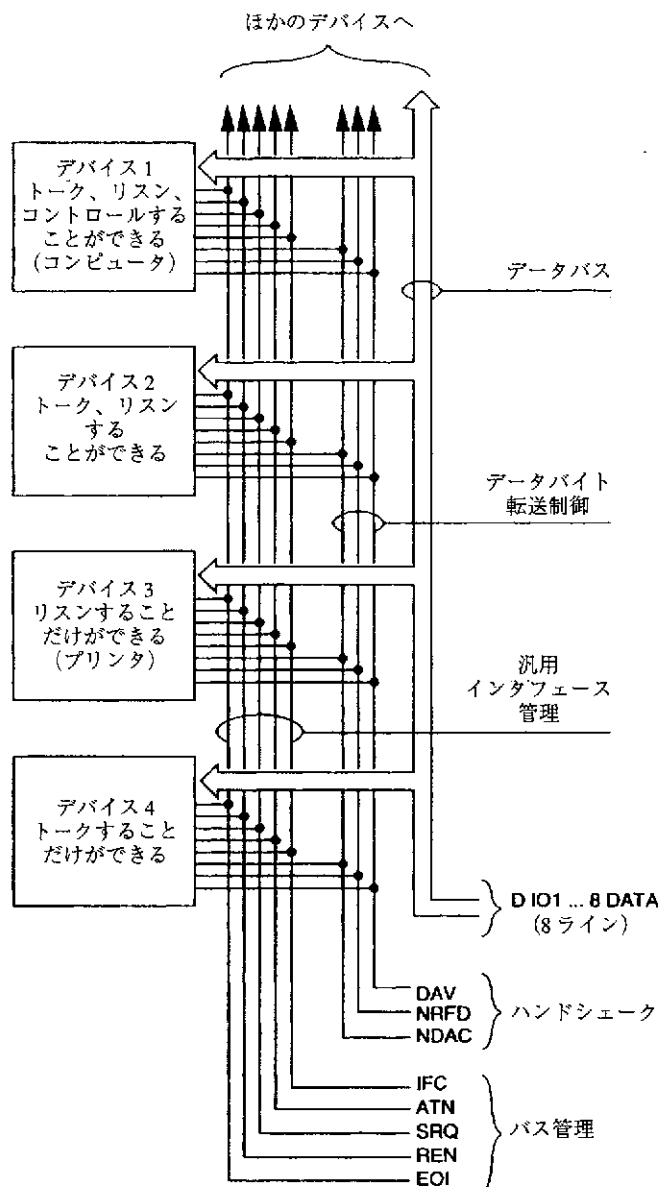
IEEE-488 バスは、コントローラを含め、15 台までのデバイスに限られます。したがって、この限度までであれば、任意の数のトーカーとリスナが一度にバス上に存在することが許されます。複数のデバイスが同時にリスンするように命令を受けますが、このバスが受け入れることができるトーカーは 1 台だけです。そうでなければ通信はスクランブル状態になるでしょう。

あるデバイスをトーク状態またはリスン状態に入れるには、適当なトークまたはリスンコマンドを送ります。トークコマンドとリスンコマンドは、計測器の一次アドレスから導きます。一次アドレスは、0 と 31 の間のどの値でもとることができ、通常は、背面パネル DIP スイッチを使って設定するか、または計測器の前面パネルからプログラムします。バスを経由して送出される実際のリスンアドレス値を求めるには、一次アドレスと \$20 との OR をとります。たとえば、一次アドレスが \$16 であれば、実際のリスンアドレスは \$36 ($\$36 = \$16 + \$20$) です。同様に、トークアドレスを求めるには、一次アドレスと \$40 との OR をとります。この場合の例では、10 進法 16 という一次アドレスから導いたトークアドレスは、\$56 ($\$56 = \$16 + \40) となります。

IEEE-488 規格は、また、二次アドレッシングという、別のアドレッシングモードも含んでいます。二次アドレスの範囲は、\$60 から \$7F です。ただし、2400 型を含み、多数のデバイスは二次アドレスを使用しませんので注意してください。

あるデバイスがトークまたはリスンするように呼びかけられると、関係するバストランザクションが発生します。たとえば、計測器がトークするように呼びかけられた場合、その計測器はデータ列を一度に 1 バイトずつ、バスに置きます。コントローラがその情報を読み取り、適切なソフトウェアを使用して、その情報を所要の場所に向けます。

図 D-1
IEEE-488 バス設定



バスライン

IEEE-488 バスの信号ラインは、データライン、管理ライン、ハンドシェークラインという、3種類に分類されます。データラインは、バスデータとコマンドを取扱い、管理ラインとハンドシェークラインは、正しいデータ転送と動作が確実に行われるようにします。それぞれのバスラインはアクティブのときに low で、約 0 ボルトが論理 1（真）を表します。以下のパラグラフは、これらのラインの動作を説明します。

データライン

IEEE-488 バスは、一度に 1 バイトのデータを転送する 8 本のデータラインを使用します。DIO1（データ入力/出力）から DIO8（データ入力/出力）は 8 本のデータラインで、データとマルチラインコマンドの伝送に使用し、双方向性です。データラインは、low を論理値「真」として動作します。

バス管理ライン

5 本のバス管理ラインは、適切なインタフェースの制御と管理を保証する役目を持ちます。これらのラインを使用して、ユニラインコマンドを送ります。

ATN（アテンション）－ATN ラインは、このラインの状態がデータバス上の情報の解釈方法を決めるという点で、重要な管理ラインです。

IFC（インタフェースクリア）－その名が示すように、IFC ラインはバスから計測器をクリアする動作を制御します。

REN（リモートイネーブル）－REN ラインを使用して、バス上の計測器をリモート状態に入れます。

EOI（終了または識別）－通常、EOI を使用して複数バイト転送シーケンスの終了の印とします。

SRQ（サービスリクエスト）－このラインを使用して、デバイスはコントローラからのサービスを請求します。

ハンドシェークライン

バスハンドシェークラインは、インターロックされたシーケンスで動作を行います。この方法は、転送速度に関係なく、信頼度の高いデータ伝送を確実に行います。一般に、データ転送が行われる速度は、バス上の最低速デバイスによって決まる速度です。

3 本のハンドシェークラインのうち 1 本は、ソース（情報を送るトーカー）によって制御されますが、ほかの 2 本は、受け入れデバイス（情報を受け取るリスナ）によって制御されます。これら 3 本のハンドシェークラインの概要は、次のとおりです。

DAV（DATA VALID データ有効）－ソースは DAV ラインの状態を制御し、データバスの情報が有効かどうかを、リスナ側デバイスに表示します。

NRFD (Not Ready For Data データ受け入れ準備未完了) - アクセプタは NRFD の状態を制御します。NRFD を使用して、受け入れデバイスの準備が完了するまで、バイト転送シーケンスを遅らせるように伝送デバイスに信号で知らせます。

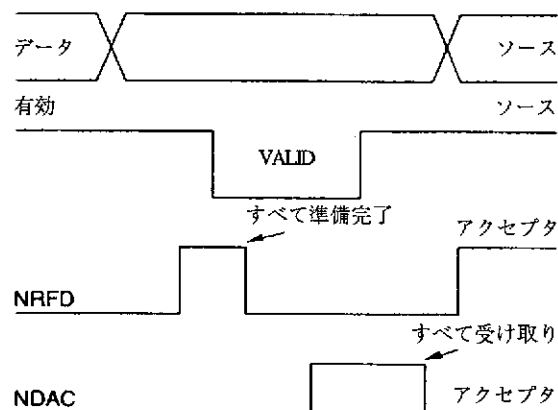
NDAC (Not Data Accepted データ未受け入れ) - NDAC も受け入れ側デバイスによって制御されます。NDAC の状態は、ソースに、デバイスがデータバイトを受け取ったかどうかを知らせます。

一つのデータバイトについての、ハンドシェークシーケンスの開始から終了までを、図 D-2 に示します。データがデータラインに置かれると、ソースは、NRFD が high の状態ですべてのアクティブデバイスの準備ができていないかどうかを確認します。同時に、NDAC は前回のバイト転送から low の状態にあるはずですが、これらの条件が満たされていない場合は、ソースは、NDAC と NRFD が正しいステータスに達するまで、待機しなければなりません。ソースがコントローラである場合は、ATN が論理値「真」に置かれてから少なくとも 100nsec の間は、NRFD と NDAC は安定状態を継続しなければなりません。バスに障害が起こる可能性がありますので、多くのコントローラは、タイムアウトルーチンを備えています。これは、何かの理由で転送シーケンスが停止した場合に、メッセージをディスプレイします。

NDAC と NRFD がすべて正しく設定されると、ソースは DAV を low の状態に設定し、データライン上のバイトが有効であることを、受け取り側デバイスに表示します。このあと NRFD は low に移行し、NDAC は、すべてのデバイスがデータを受け取れば、high に移行します。それぞれのデバイスは、その固有の速度で NDAC を開放することができますが、逆に NDAC は、すべてのデバイスがデータバイトを受け取るまでは、開放されず、high に移行しません。

上記で説明したシーケンスを使用して、データ、トークアドレスとリスンアドレス、マルチラインコマンドを転送します。ATN ラインの状態によって、データバスラインが、次のパラグラフで説明するようなデータ、アドレスまたはコマンドを含むかどうかが決まります。

図 D-2
IEEE-488 ハンド
シェークシーケンス



バスコマンド

計測器は、IEEE-488 インタフェースをとおして、多数の特別なバスコマンドを受けることができます。この部では、下記のように3種類に分類したバスコマンドの目的について、簡単に説明します。

1. ユニラインコマンド—このコマンドを送るために、関連バスラインを論理値「真」に設定します。たとえば、REN（リモートイネーブル）を表明するには、REN ラインを low（真）に設定することになります。
2. マルチラインコマンド—ATN ラインを論理値「真」（low）の状態、データラインを経由して送る汎用バスコマンド
3. 汎用コマンド—バス上のすべてのデバイスに共通のコマンド、ATN は high（偽）の状態にして送る
4. SCPI コマンド—バス上のそれぞれのデバイスに固有のコマンド、ATN は（偽）の状態で送る

これらのバスコマンドとその一般的な用途を、表 F-1 にまとめます。

表 D-1
IEEE-488 バスコマンドのまとめ

コマンドの種類	コマンド	ATN ライン の状態	内容
ユニライン	REN（リモートイネーブル）	X	デバイスをリモート動作に設定します。
	EOI	X	伝送の終了の印とします。
	IFC（インタフェースクリア）	X	インタフェースをクリアします。
	ATN（アテンション）	Low	データバスの内容を定義します。
	SRQ	X	外部デバイスによって制御
マルチライン ユニバーサル	LLO（ローカルロックアウト）	Low	ローカル操作をロックします。
	DCL（デバイスクリア）	Low	デバイスをデフォルト条件に戻します。
	SPE（シリアルイネーブル）	Low	シリアルポーリングを使用可能にします。
	SPD（シリアルボールディスエーブル）	Low	シリアルポーリングを使用禁止にします。
呼びかけを受けている	SDC（選択デバイスクリア）	Low	ユニットをデフォルト条件に戻します。
	GTL（ローカルに移行せよ）	Low	デバイスをローカル状態に戻します。
呼びかけを受けてない	UNL（アンリスン）	Low	すべてのリスナをバスから外します。
	UNT（アントーク）	Low	すべてのトーカをバスから外します。
共通	—	High	IEEE-488 互換計測器を共通動作を行うようにプログラムします。
SCPI	—	High	SCPI 互換計測器を個別動作を行うようにプログラムユニラインコマンド

ユニラインコマンド

ATN、IFC、REN を表明するのは、コントローラだけです。SRQ を表明するのは、外部デバイスです。EOI の表明については、データ転送の方向によって、コントローラが表明する場合も、そのほかのデバイスが表明する場合があります。以下はそれぞれのコマンドの説明です。それぞれのコマンドを送るには、対応するバスラインの論理値を「真」に設定します。

REN (リモートイネーブル) — REN を送って、バス上の計測器をリモート動作に備えてセットアップします。REN が真であるときは、デバイスはローカルモードから外されます。複数バイト転送シーケンスの最後のバイトを積極的に識別するために使用するデバイス設定により、決まります (?)。したがって、いろいろな長さのデータワードを容易に伝送することができます。

IFC (インタフェースクリア) — IFC を使用して、インタフェースをクリアし、すべてのデバイスをトーカアイドル状態、リスナアイドル状態に戻します。

ATN (アテンション) — コントローラは、アドレスまたはマルチラインコマンドを送りながら、ATN を送ります。

SRQ (サービスリクエスト) — デバイスがコントローラからサービスを要求するときに、そのデバイスは SRQ を表明します。

普遍マルチラインコマンド

汎用コマンドとは、アドレス指定を必要としないマルチラインコマンドを指します。このようなコマンドを実行する機能を備えたデバイスは、すべて、このようなコマンドが送られると、同時にこれらのコマンドを実行します。すべてのマルチラインコマンドと同じように、これらのコマンドも ATN の論理値が真のときに伝送されます。

LLO (ローカルロックアウト) — LOCAL キー、したがってすべての前面パネルの制御機能をロックアウトするために、LLO を計測器に送ります。

DCL (デバイスクリア) — DCL を使用して、計測器をあるデフォルト状態に戻します。通常は、計測器はそれぞれの電源投入状態に戻ります。

SPE (シリアルボールイネーブル) — SPE は、シリアルポーリングシーケンスの最初のステップで、サービスを請求したデバイスがどのデバイスであるかを調べるために使用します。

SPD (シリアルボールディスエーブル) — コントローラは、SPD を使用して、バス上のすべてのデバイスをシリアルボールモードから外します。通常、SPD はシリアルポーリングシーケンスの最後のコマンドです。

アドレス指定マルチラインコマンド

アドレス指定コマンドとはマルチラインコマンドで、その前にはデバイスリスンアドレスを付けなければなりません。このようにして、計測器は、はじめてこのコマンドに応答します。

アドレス指定デバイスだけが、これらのコマンドに応答することに留意してください。コマンドも、コマンドに先行するアドレスも、ATN の論理値を真にして送ります。

SDC (選択的デバイスクリア) – SDC コマンドは、DCL コマンドと実質的に同じ機能を果たします。異なる点は、アドレスを指定したデバイスだけが応答することです。一般に、計測器は、SDC コマンドに応答するときには、それぞれの電源投入時デフォルト条件に戻ります。

GTL (ローカル状態に移行せよ) – GTL コマンドを使用して、計測器をリモートモードから外します。一部の計測器では、前面パネルの制御機能がそれまでに LLO コマンドによってロックアウトされていれば、GTL がこれらの機能のロックを解除します。

GET (グループ実行トリガ) – GET コマンドを使用して、デバイスをトリガし、デバイスの設定により決まる固有のアクション (たとえば値の読み取り) を行わせます。GET はアドレス指定コマンドですが、アドレスを指定しなくても、多数のデバイスが GET に応答します。

アドレスコマンド

アドレス指定コマンドは、2つの一次コマンドグループと、1つの二次アドレスグループを含みます。これらのコマンド表明するときには、ATN の論理値は「真」です。

LAG (リスンアドレスグループ) – これらのリスンコマンドは、計測器の一次アドレスから導かれます。これらのコマンドを使用して、デバイスにリスンするように呼びかけます。実際のコマンドバイトを求めるには、アドレスと \$20 との OR をとります。

TAG (トークアドレスグループ) – トークアドレスは、一次アドレスから導きます。そのためにアドレスと \$40 との OR をとります。トークコマンドを使用して、デバイスにトークするように呼びかけます。

SCG (二次コマンドグループ) – このグループのコマンドは、追加アドレス指定機能を提供します。多数のデバイス (2400 型を含む) は、このコマンドを使用しません。

アドレス指定解除コマンド

コントローラは2つのアドレス指定解除コマンドを使用して、トーカまたはリスナをバスから外します。これらのコマンドを表明するときは、ATN の論理値は「真」です。

UNL (アンリスン) – UNL コマンドは、リスナをリスナアイドル状態に入れます。

UNT (アントーク) – UNT コマンドは、これまでにコマンドを受けたトーカがあれば、それをトーカアイドル状態に入れます。

汎用コマンド

汎用コマンドとは、バス上のすべてのデバイスに共通のコマンドです。これらのコマンドには、IEEE-488.2 規格による名称と定義があります。

一般に、これらのコマンドを送るときのは、1 個以上の ASCII 文字であり、デバイスに共通の動作、たとえばリセットを行うように命じます。IEEE-488 バスがこれらのコマンドを処理する場合のコマンドの形は、これらのコマンドの伝送時には ATN の論理値が「偽」であるという点で、データとなります。

SCPI コマンド

SCPI コマンドは、バス上のそれぞれのデバイスに固有のコマンドです。これらのコマンドは、計測器製造者による名称を持ち、プログラマブル計測器用標準コマンド (SCPI) コンソーシアムの SCPI 規格が定義する計測器モデルに準拠するものです。

一般に、これらのコマンドを送るときのは、1 個以上の ASCII 文字であり、デバイスに固有の動作、たとえばレンジの設定、リレーの開路などを行うように命じます。IEEE-488 バスがこれらのコマンドを処理する場合のコマンドの形は、これらのコマンドの伝送時には ATN の論理値が「偽」であるという点で、データとなります。

コマンドコード

データラインを使用する各種のコマンドのコマンドコードを、図 D-3 にまとめます。各種のコマンドの 16 進値と 10 進値を、表 D-2 にリストします。

表 D-2
16 進コマンドコードと 10 進コマンドコード

コマンド	16 進値	10 進値
GTL	01	1
SDC	04	4
GET	08	8
LLO	11	17
DCL	14	20
SPE	18	24
SPD	19	25
LAG	20-3F	32-63
TAG	40-5F	64-95
SCG	60-7F	96-127
UNL	3F	63
UNT	5F	95

図 D-3
コマンドコード

[illegible]

2400 型は、*PPC (並列ボールの構成)、PPU (並列ボールの構成解除)、およびTCT (管理せよ) を実行しません。
 注記 D0=D101 ... D7=D108; X= 放置せよ (気にするな)

二次
コマンド
グループ

代表的なコマンドシーケンス

各種のマルチラインコマンドについて、コマンドを正しく送るには特定のバスシーケンスが発生しなければなりません。特に、正しいリスンアドレスを計測器に送ることが、計測器がアドレス指定コマンドに応答する条件です。表 D-3 のリストに示すのは、アドレス指定マルチラインコマンドを送る場合の代表的なバスシーケンスです。この場合では、SDC コマンドが計測器に送られています。UNL は、通常は、シーケンスの一部として送り、ほかのアクティブリスナが存在しない状態を確保します。ATN の論理値は、リスンコマンドに対しても、SDC コマンドバイトそのものに対しても「真」であることに留意してください。

表 D-3

代表的なアドレス指定マルチラインコマンドシーケンス

ステップ	コマンド	-ATN の状態	データバス		
			ASCII	16 進値	10 進値
1	UNL	low レベルに設定	?	3F	63
2	LAG*	low レベルのまま	0	30	48
3	SDC	low レベルのまま	EOT	04	4
4		high レベルに戻る			

*一次アドレス=16とします。

表 D-4 に示すのは、代表的な汎用コマンドシーケンスです。この場合では、計測器がアドレスされている間は ATN の論理値は「真」ですが、汎用コマンド列を送っている間は、ATN は high レベルに設定されます。

表 D-4

代表的なアドレス指定コモンコマンドシーケンス

ステップ	コマンド	ATN の状態	データバス		
			ASCII	16 進値	10 進値
1	UNL	low レベルに設定	?	3F	63
2	LAG*	low レベルのまま	0	30	48
3	Data	high レベルに設定	*	2A	42
4	Data	high レベルのまま	R	52	82
5	Data	high レベルのまま	S	53	83
6	Data	high レベルのまま	T	54	84

*一次アドレス=16とします。

IEEE コマンドグループ

2400 型がサポートするコマンドグループのリストを、表 F-5 に示します。汎用コマンドと SCPI コマンドは、このリストには掲載してありません。

表 F-5

IEEE コマンドグループ

ハンドシェークコマンドグループ	
	NDAC = データ未受け入れ
	NRFD = データ受け入れ準備未完了
	DAV = データ有効
普遍コマンドグループ	
	ATN = アテンション
	DCL = デバイスクリア
	IFC = インタフェースクリア
	REN = リモートイネーブル
	SPD = シリアルポートディスエーブル
アドレスコマンドグループ	
リスン	LAG = リスンアドレスグループ
	MLA = マイリスンアドレス
	UNL = アンリスン
トーク	TAG = トークアドレスグループ
	MTA = マイトークアドレス
	UNT = アントーク
	OTA = そのほかのトークアドレス
アドレスコマンドグループ	
	ACG = アドレス指定グループ
	GTL = ローカル状態に移行せよ
	SDC = 選択的デバイスクリア
ステータスコマンドグループ	
	RQD = リクエストサービス
	SRQ = シリアルポートリクエスト
	STB = ステータスバイト
	EOI = 終了

インタフェース機能コード

IEEE-488 規格の一部であるインタフェース機能コードは、計測器が各種インタフェース機能をサポートする能力を定義するためのもので、このマニュアルのほかの場所に記載するプログラミングコマンドと混同しないようにしてください。2400 型のインタフェース機能コードを、表 F-6 にリストします。これらのコードは、2400 型の機能を、次のように定義します。

表 D-6
2400 型インタフェース機能コード

コード	インタフェース機能
SH1	ソースハンドシェーク機能
AH1	アクセプタハンドシェーク機能
T5	トーカー (基本トーカー、トークオンリー、シリアルボール、LAG コマンドの場合、トークするように呼びかけられてない)
L4	リスナ (基本リスナ、TAG コマンドの場合、リスンするように呼びかけられてない)
SR1	サービス請求機能
RL1	リモート/ローカル機能
PP0	並列ポーリング機能なし
DC1	デバイスクリア機能
DT1	デバイストリガ機能
C0	コントローラ機能なし
E1	開放コレクタバスドライバ
TE0	拡張トーカー機能なし
LE0	拡張リスナ機能なし

SH (ソースハンドシェーク機能) — SH1 は、計測器が、データバスを経由するメッセージ/データの転送を開始する能力を定義します。

AH (アクセプタハンドシェーク機能) — AH1 は、計測器が、データバスを経由するメッセージ/データの正しい受け取りを保証する能力を定義します。

トーカー (トーカー機能) — T 機能は、計測器に、データをバスを経由してほかのデバイスに送る能力を与えます。計測器のトーカー機能 (T5) が発生するのは、その計測器がトークするように呼びかけられたあとになります。

L (リスナ機能) — L 機能は、計測器に、ほかのデバイスからバスを経由してデバイス依存データを受け取る能力を与えます。計測器のリスナ機能 (L4) が発生するのは、その計測器がリスンするように呼びかけられたあとになります。

SR (サービス請求機能) — SR1 は、計測器が、コントローラからサービスを請求する能力を定義します。

RL (リモート/ローカル機能) — RL1 は、計測器がリモートまたはローカルモードに移行する能力を定義します。

- PP（並列ポーリング機能）－計測器には、並列ポーリング機能がありません（PP0）。
- DC（デバイスクリア機能）－DC1 は、計測器がクリア（初期化）状態に入る能力を定義します。
- DT（デバイストリガ機能）－DT1 は、読取り値にトリガをかける 2400 型の能力を定義します。
- C（コントローラ機能）－計測器には、コントローラ機能がありません（C0）。
- TE（拡張トーカー機能）－計測器には、拡張トーカー機能がありません（TE0）。
- LE（拡張リスナ機能）－計測器には、拡張リスナ機能がありません（LE0）。
- E（バスドライバの種類）－計測器のバスドライバは、開放コレクタ型です（E1）。