

このドキュメントの和文版にて、図の誤りがありましたので訂正いたします。  
この正誤表は、2017年2月3日現在、アナログ・デバイセズ株式会社で確認した差分を記したものです。

正誤表作成年月日：2017年2月3日

ドキュメント名：AN-1123

対象となる資料のリビジョン(Rev)：日本語版 Rev.0

訂正箇所：

和文アプリケーションノート P.1 表1 不等号の向きに誤りがございました。

<誤>

表 1. RS-485 と CAN の比較

論理レベル	RS-485 の電圧レベル	CAN の状態	CAN の電圧レベル
1	$A - B \geq +200 \text{ mV}$	リセッシブ	$\text{CANH} - \text{CANL} \geq 0.5 \text{ V}$
0	$A - B \geq -200 \text{ mV}$	ドミナント	$\text{CANH} - \text{CANL} \geq 0.9 \text{ V}$

<正>

表 1. RS-485 と CAN の比較

論理レベル	RS-485 の電圧レベル	CAN の状態	CAN の電圧レベル
1	$A - B \geq +200 \text{ mV}$	リセッシブ	$\text{CANH} - \text{CANL} \leq 0.5 \text{ V}$
0	$A - B \leq -200 \text{ mV}$	ドミナント	$\text{CANH} - \text{CANL} \geq 0.9 \text{ V}$

## CAN アプリケーションの実装ガイド

著者: Dr. Conal Watterson

### はじめに

CAN (Controller Area Network) は、エラー/故障への対応機能を備える分散型通信の標準規格です。OSI (Open Systems Interconnect : 開放型システム間相互接続) モデルの物理層とデータ・リンク層に対応するものであり、ISO-11898<sup>1,2</sup>として規格化されています。CAN は、本質的に強固な通信メカニズムを採用しているため、産業用機器、計測用機器、車載機器などの用途で幅広く利用されています。その特徴としては、以下のような事柄を挙げることができます。

- バス上でマルチマスター方式の利用が可能
- メッセージごとに固有の優先度を定義可能
- メッセージの優先度に応じたバス調停 (アービトラージョン) が可能
- 複数のレベルでエラーの検出/リカバリが可能
- 異なるクロック源を用いたノード間で、データのタイミング同期が可能

CAN プロトコルでは、物理層において差動データ伝送をサポートしています。それにより、以下のようなメリットが得られます。

- 1 対のツイスト・ケーブルで双方向通信が可能
- ノイズ耐性が強化される
- 広いコモンモード範囲でノード間のグラウンド電位の差を許容できる

### CAN の実装

本稿では、産業用アプリケーションで CAN を利用するケースを想定して解説を進めます。そのなかで、以下のような事柄を網羅します。

- CAN の実装レイヤー: CAN の仕様とプロトコルが、ハードウェア/ソフトウェア、特に CAN トランシーバにいかに関連づけられるか
- CAN のメッセージ: メッセージの構造が、エラーの検出/リカバリ、バス調停においていかに重要なものであるか
- 調停: CAN のキャリア・センス・マルチアクセス (CSMA) 方式では、どのようにして複数の駆動ノードをサポートするのか
- エラー・メカニズム: CAN では、どのようにして通信の信頼性を高めているのか
- 物理バス: 物理層では、どのようにして適切な通信を保証しているのか
- 絶縁: CAN では信号/電源の絶縁はどのようにして行うべきなのか。また、統合レベルの高い絶縁ソリューションにはどのようなものがあるのか
- ストレスからの保護: CAN では、トランシーバを電氣的ストレスから保護するためにどのような保護メカニズムを用いるのか

### CAN の差動データ伝送

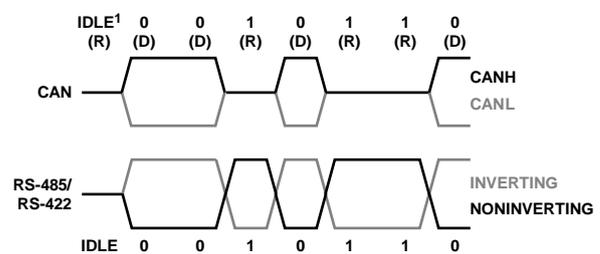
RS-485<sup>3</sup> など、従来の差動データ伝送では、論理レベルの「1」を送信する場合、非反転伝送線に高い電圧レベル、反転伝送線に低い電圧レベルを割り当てます。逆に、論理レベルの「0」は、非反転伝送線に低い電圧レベル、反転伝送線に高い電圧レベルを割り当てます。受信器は、2 つの伝送線間の電位差を基に、表 1 に示したような条件で、伝送されてきた信号が論理レベルの 1 と 0 のうちいずれなのかを判定します。

表 1. RS-485 と CAN の比較

論理レベル	RS-485 の電圧レベル	CAN の状態	CAN の電圧レベル
1	$A - B \geq +200 \text{ mV}$	リセッピブ	$\text{CANH} - \text{CANL} \geq 0.5 \text{ V}$
0	$A - B \geq -200 \text{ mV}$	ドミナント	$\text{CANH} - \text{CANL} \geq 0.9 \text{ V}$

RS-485 など、従来の差動伝送では、バス上のドライバ出力をハイ・インピーダンスにすることで、第 3 の状態をとることができます。すべてのノードがこの状態にある場合、バスは「アイドル状態にある」と表現します。この条件では、通常両方のバス線とも同様の電圧レベルとなり、その差は非常に小さくなります。

CAN の仕様は、上述した RS-485 などの仕様とは大きく異なります。CAN では、表 1 に閾値と併せて示しているように、バス電圧の状態として、リセッピブとドミナントの 2 つのみが存在します。リセッピブは、バス上のドライバ出力がハイ・インピーダンスの場合の状態です。一方のドミナントは、バス線 CANH がハイで、バス線 CANL がローの場合の状態です。RS-485 と CAN の違いは、図 1 のように表すことができます。CAN の伝送ノードは、論理レベルの 0 に対応してドミナントの状態となり、論理レベルの 1 に対応してリセッピブの状態となります。また、CAN では、後述するフレームまたはエラー・フレームの終わりに複数のリセッピブ・ビットが続いたことを検出すると、アイドル状態にあると判定されます。ドミナントとリセッピブの 2 つの状態は、表 1 に示したように、CANH と CANL の電圧レベルの差によって判定されます。この信号方式は、ノードにおける調停と、メッセージ ID による個々のメッセージに対する優先付けの両方にとって不可欠な要素です。



NOTES  
1. CAN BUS IDLE AFTER MULTIPLE RECESSIONS.

図 1. CAN と RS-485 の違い

アナログ・デバイセズ社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイセズ社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。本紙記載の商標および登録商標は、各社の所有に属します。  
※日本語版資料は REVISION が古い場合があります。最新の内容については、英語版をご参照ください。  
©2012 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

## 目次

はじめに .....	1	エラー・フレーム .....	8
CAN の実装 .....	1	エラー・カウンタ .....	8
CAN の差動データ伝送 .....	1	ノードのエラー状態 .....	9
改訂履歴 .....	2	送信ビットの検証 .....	9
CAN 実装レイヤー .....	3	ビット・スタッフィングのルール違反 .....	9
CAN トランシーバ .....	3	CRC によるエラー検出 .....	9
CAN コントローラ .....	4	固定フォーマットのフィールドの検証 .....	9
DEVICENET ネットワーク .....	4	ACK メッセージの不検出 .....	9
CANOPEN プロトコル .....	4	物理バス .....	10
CAN メッセージのフレーム構造 .....	5	CAN 物理バスの特徴 .....	10
調停フィールド .....	5	終端 .....	10
DLC フィールド .....	5	絶縁 .....	11
CRC フィールド .....	5	絶縁対応の CAN トランシーバ .....	11
ACK スロット .....	5	ストレスからの保護 .....	13
EOF .....	5	結線ミスと短絡 .....	13
調停 .....	7	過渡的な高電圧への耐性 .....	13
メッセージの優先順位 .....	7	参考文献 .....	14
エラー処理のメカニズム .....	8	関連リンク .....	14

## 改訂履歴

2/12—Revision 0: Initial Version

## CAN 実装レイヤー

CANによる通信は、ISO（国際標準化機構）により、ISO 11898 として標準化されています。ISO 11898 では、7つの階層から成る OSI モデルのうち、データ・リンク層と物理層の一部が定義されています。具体的には、ISO 11898-1によりデータ・リンク層とそれに関連する階層について規定されています。また ISO 11898-2 として、データ・リンク層の一部と物理層に関する規格が定められています。

CAN の実装は、以下のような要素によって構成されます。

- CAN トランシーバ：物理層で用いるトランシーバ。ツイスト・ペア・ケーブルのような物理媒体を通して信号を送送するために、CAN メッセージから差動信号への変換とその逆の変換を行う
- CAN コントローラ：データ・リンク層の仕様を実装したもの。CAN コントローラは、ISO 11898 規格に適合した通信を保証するために、CAN 2.0B 仕様に準拠して設計される。アナログ・デバイスが提供する Blackfin ブランドのプロセッサ「ADSP-BF548」のように、CAN コントローラを内蔵しているものもある
- CAN ソフトウェア・アプリケーション：アプリケーション層のプロトコルを実装したもの。ソフトウェア・アプリケーションで扱うデータから CAN メッセージへの変換とその逆の変換を行う

図 2 に、CAN アプリケーションで使用するさまざまなブロックを示します。各ブロックによって実行される機能と、OSI モデルとの関係を示してあります。

## CAN トランシーバ

CAN トランシーバ（物理層のトランシーバ）は、データ・リンク層である CAN コントローラ（例えば、Blackfin プロセッサが内蔵する CAN コントローラ）と CAN バスの物理配線の間、差動の物理層インタフェースを提供します。アナログ・デバイセズの製品ラインには、単機能の CAN トランシーバはもちろん、iCoupler<sup>1</sup> 技術を採用したデジタル信号絶縁機能<sup>5</sup>や、isoPower<sup>1</sup> 技術を採用した絶縁型 DC/DC 電源機能<sup>5</sup>を内蔵した製品も用意されています。これらの製品により、完全な絶縁が実現された使いやすい CAN 物理層を構築することができます。CAN コントローラとのインタフェース用に設計された物理層トランシーバとしては、「ADM3051」、「ADM3052」、「ADM3053」、「ADM3054」があります。それぞれの概要は以下のとおりです。

- ADM3054：5kVrms の信号絶縁機能を備える高速 CAN トランシーバ
- ADM3053：2.5kVrms の信号絶縁機能と絶縁型 DC/DC 電源機能を備えた完全絶縁型高速 CAN トランシーバ
- ADM3052：24V のバス電源に対応可能なリニア・レギュレータと、5kVrms の信号絶縁機能を備える高速 CAN トランシーバ。例えば、DeviceNet アプリケーションで使用可能
- ADM3051：非絶縁型の高速 CAN トランシーバ

CAN を利用するアプリケーションでは、CANopen や DeviceNet<sup>TM</sup> といった上位層のプロトコルが使用されます。上記の製品は、そうしたさまざまなアプリケーションをサポートします。

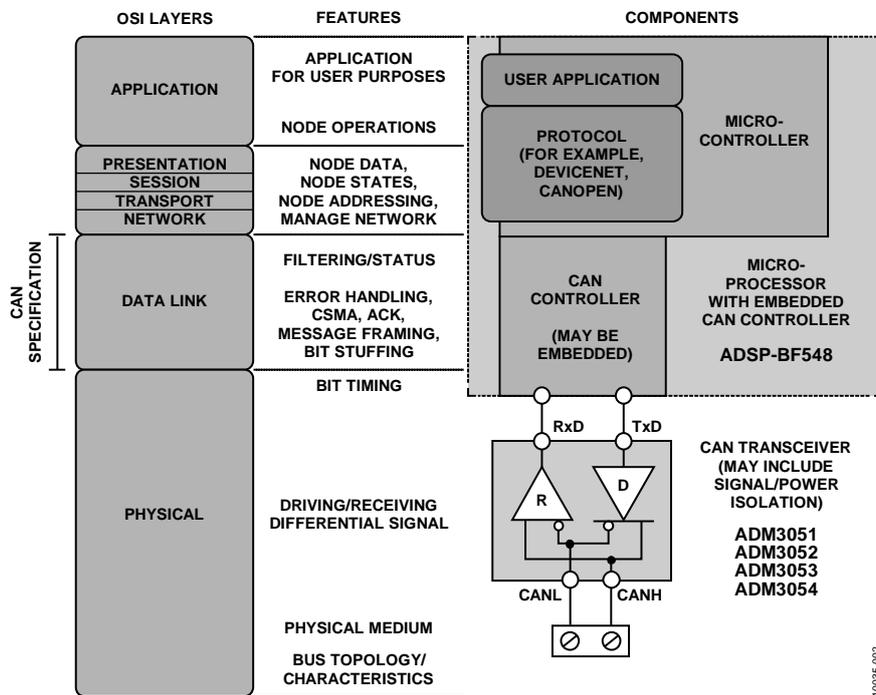


図 2. CAN の実装ブロックと OSI モデルとの関係

### CAN コントローラ

CAN のデータ・リンク層の処理とビット・タイミングの処理は、CAN コントローラによって実行されます。それらの処理は、ISO 11898 のデータ・リンク層に関する規格と CAN 2.0B に準拠したかたちで行われます。CAN コントローラは、メッセージのフィルタリング、調停、メッセージのフレーミング、エラーのハンドリング、さらにはビット・スタッフィングのようなエラー検出メカニズムの処理を担います。上述したように、CAN コントローラは、ADSP-BF548 の例のように、マイクロコントローラや DSP に組み込まれたかたちで提供されることもあります。

### DEVICENET ネットワーク

DeviceNet<sup>6</sup> は、OVDA (Open DeviceNet Vendors Association) によって管理されている通信ネットワーク用の仕様です。DeviceNet では、物理層の仕様、物理層とデータ・リンク層における CAN の利用方法、産業オートメーション用のプロトコルである CIP (Common Industrial Protocol) を用いた上位層の通信について規定しています。産業用機器や計測機器では、DeviceNet を上位層のプロトコルとする CAN アプリケーションが一般的に使用されています。

DeviceNet は、リニア・バス・トポロジーをベースとし、マスター・スレーブ型または分散型の制御システムをサポートするマルチドロップ方式のネットワークについて規定しています。差動信号のバス・ラインだけでなく、バスからノードに給電できるよう、電源/グラウンド・ラインも含めた仕様となっています。

DeviceNet の物理層の仕様は、CAN 技術の利用法や、結線ミスからの保護方法、動作中のネットワークへのノードの追加/削除の機能

などについて定めています。伝送媒体やコネクタを含む物理層のさまざまな事柄についても、詳細に規定されています。

絶縁型 CAN トランシーバの ADM3052 は、信号の絶縁機能、結線ミスからの保護機能、24V のバス電源 (V+) から自身のバス側回路に電力を供給するためのリニア・レギュレータを備えています。そのうえで、DeviceNet の物理層に対する要求を完全に満足しています。図 3 に、同製品の機能ブロック図と応用回路例を示しました。

### CANOPEN プロトコル

CANopen<sup>7</sup> は、CiA (CAN in Automation) によって管理されているアプリケーション層プロトコルです。CAN のデータ・リンク層と物理層を使用するものであり、デバイス、通信、アプリケーションについて標準化されたプロファイルが規定されています。これを利用することにより、産業用オートメーションやビル・オートメーションといった異なるアプリケーション領域の間で相互運用性を得ることができます。CANopen の物理層は、バス・トポロジーと 1Mbps (メガビット/秒) までのデータ通信速度をサポートする ISO 11898 に準拠しています。

ADM3053 では、内蔵トランシーバのバス側の電源電圧を、自身が内蔵する DC/DC コンバータから供給できるようになっています。そのため、CANopen を使用するようなネットワークにおいて、完全に絶縁された状態で通信を実現することが可能です。一方、アプリケーション回路にすでに絶縁された 5V の電源が存在する場合には、5kVrms のデジタル信号絶縁機能を備える ADM3054 を使用することができます。これらについての詳細は後述します。

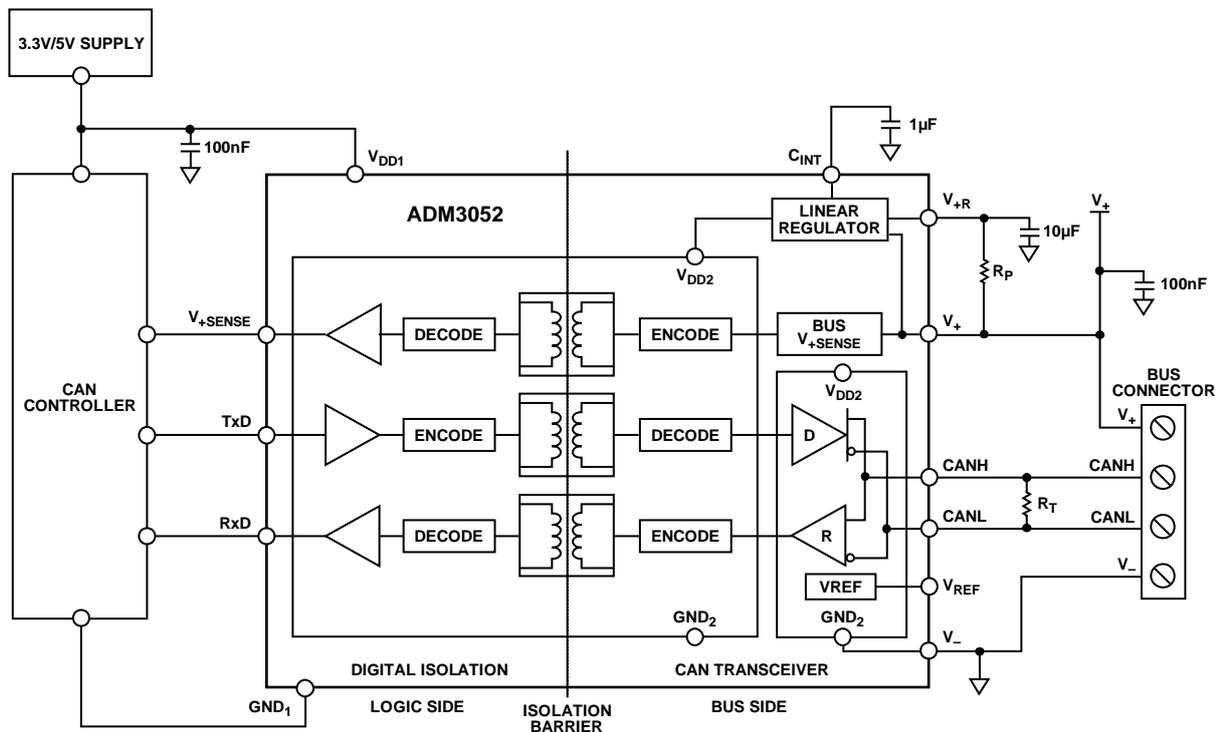


図 3. ADM3052 のブロック図と応用回路例

10035-003

## CAN メッセージのフレーム構造

先述したように、CAN では、エラー検出に加え、メッセージごとの優先順位づけやビット単位の調停機能によって信頼性の高い通信を実現します。これらの特徴を得るために、CAN メッセージの構造にはさまざまな工夫が施されています。CAN コントローラは、CAN 2.0B で規定されている CAN メッセージ(ここで説明する拡張フォーマットのメッセージも含みます)のフレームを処理するものです。

本稿の冒頭で説明したように、物理層での CAN メッセージの信号は、以下のような表現方法を利用して伝送されます。

- 論理レベルの 1: バス出力をハイ・インピーダンスとするリセッパ状態
- 論理レベルの 0: CANH がハイで CANL がローのドミナント状態  
図 4 と図 5 に、CAN メッセージのフレーム構造を示しました。図 4 は標準フォーマットのメッセージ・フレーム、図 5 は拡張フォーマットのメッセージ・フレームを表しています。色分けされた各フィールドの意味は、以下に示すとおりです。
- 白いフィールド: バスはリセッパ状態
- 黒のフィールド: バスはドミナント状態
- グレーのフィールド: リセッパとドミナントのどちらにもなりうる

### 調停フィールド

図 4、図 5 に示したように、CAN メッセージの一部は、メッセージの識別子として用いられます。そのセクションでは、メッセージの識別のために、多数のフラグ・ビットを組み合わせて使用します。この部分を、調停フィールド (Arbitration Field) と呼びます。各フラグは、メッセージ ID、メッセージのタイプ、調停についての指示、調停の結果として得られるメッセージの優先度を表現する役割を果たします。また、フラグを用いて CAN メッセージの種類を区別するための主要な属性として、以下の 2 つが用意されています。

- IDE (Identifier Extension) : 拡張識別子を使用するか否かを表す
- RTR (Remote Transmission Request) : リモート送信リクエストであるか否かを表す

リモート送信リクエスト (図 4、図 5 のリモート・フレーム) は、発信者に対し、あるメッセージを送信するよう要求するために使用します (通常は、バス上のノードがデータを自動的に送信します)。このリモート送信リクエストは、データを一切持たないメッセージです。あるノードがほかのノード (または複数のほかのノード) に対し、ID が同じでデータを備えているメッセージを送信することを要求するために送られます。

拡張フォーマットのフレームに存在する SRR (Substitute Remote Request) ビットは、標準フォーマットの CAN メッセージのみを使用するノードとの互換性を実現するためのものです。

また、CAN プロトコルの将来の拡張に備えていくつかのビットが確保されています。実際に拡張が行われた際、互換性を確保するために、それらのビットには現状は 0 が設定されています。

### DLC フィールド

CAN メッセージのフレームには、最大 8 バイトまでのデータを格納することができます。DLC (データ長コード) フィールドは、フレーム内のデータの長さをエンコードして格納するためのものです。リモート送信リクエストの場合、DLC には、同リクエストが要求するデータ・フレームのデータ長が含まれます。DLC フィールドには 10 進数で言えば 0 から 8 までの値しか入りません。

### CRC フィールド

CRC (巡回冗長検査) フィールドは、CAN プロトコルにおけるエラーチェック・メカニズムの一端を担います。同フィールドには、CAN メッセージのフレームの内容から生成された数値 (CRC 符号) が含まれます (詳細は後述)。これを利用することにより、反転やエラーが生じ、間違ったビット・データが受信されていないかどうかをチェックすることができます。

CRC フィールドは、CRC デリミタ (リセッパ状態に固定された 1 ビット長のデータ) によって、それに続く ACK スロットと分離されます。これは、CRC フィールドが ACK スロットのデータによる影響を受けないことを保証するための工夫です。

### ACK スロット

メッセージの発信者は、ACK (確認応答) スロットに論理レベルの 1 (リセッパ状態) を設定して送信します。ACK スロットの期間中に、バスが別のノードによってドミナント状態にセットされるときのみ、エラーのない状態での送信が実現されます。それまでメッセージ・フィールドをエラーなしの状態を受信していたほかのすべてのノードは、メッセージの受信の確認応答として、自動的に論理レベルの 0 の送信を試みます。

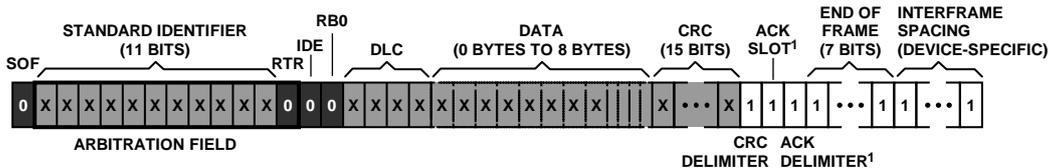
ACK デリミタは、リセッパ状態に固定された 1 ビット長のデータです。これは、ACK のビット・データを送信しているノードのタイミングがわずかにずれていても、ドミナントのビット・データが次のビットに入り込まないように余裕を持たせるために設けられています。

バスが ACK スロットの期間中にリセッパ状態を維持している場合、それを検出したノードは、次のビット期間にエラー・フレームの送信を開始します。

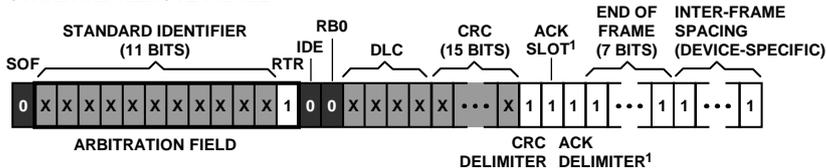
### EOF

フレームの終わりは、EOF (End of Frame) によって通知されます。これは、リセッパ状態に固定された 7 ビット長のデータです。この EOF 以降の期間には、ビット・スタッフィングは発生しません。ビット・スタッフィングとは、メッセージの中で論理レベルの 1 または 0 の状態が 6 ビット連続した場合に、補完ビットが挿入されるというルールで行われる処理のことです。EOF の後ろには、インターフレーム・スペースが挿入されます。その長さは、使用する CAN コントローラごとに規定されたバス・アイドル期間に依存します。

STANDARD DATA FRAME



STANDARD REMOTE FRAME



KEY:

- 1 RECESSIVE BIT
- 0 DOMINANT BIT
- X BIT MAY BE EITHER STATE

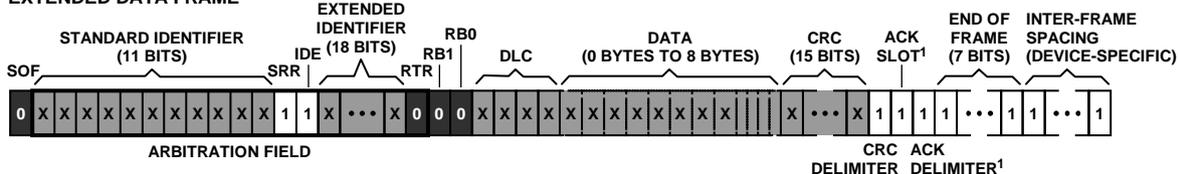
NOTES

1. ORIGINATOR OF FRAME TRANSMITS RECESSIVE (1) DURING ACK SLOT/DELIMITER. SUCCESSFUL TRANSMISSION OF MESSAGE FRAME REQUIRES AT LEAST ONE OTHER NODE TO TRANSMIT A DOMINANT (0) BIT DURING THE ACK SLOT.

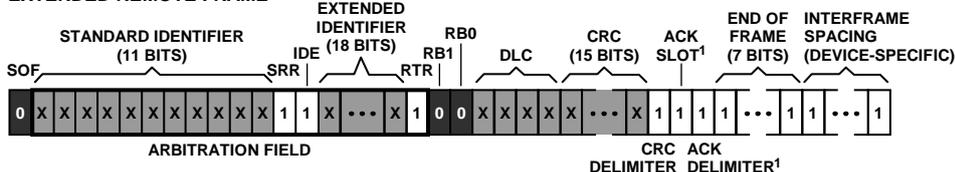
10035-004

図 4. 標準フォーマットのメッセージ・フレーム構造

EXTENDED DATA FRAME



EXTENDED REMOTE FRAME



KEY:

- 1 RECESSIVE BIT
- 0 DOMINANT BIT
- X BIT MAY BE EITHER STATE

NOTES

1. ORIGINATOR OF FRAME TRANSMITS RECESSIVE (1) DURING ACK SLOT/DELIMITER. SUCCESSFUL TRANSMISSION OF MESSAGE FRAME REQUIRES AT LEAST ONE OTHER NODE TO TRANSMIT A DOMINANT (0) BIT DURING THE ACK SLOT.

10035-005

図 5. 拡張フォーマットのメッセージ・フレーム構造

## 調停

CAN では、どのノードも単一のバス上でデータの送信を行うことができます。2つ以上のノードがデータの送信を試みた場合、優先順位に従ってメッセージが順に送信されるように、ノードがバスの使用についての調停（アービトラージョン）を行います。

CAN では、ドミナント・ビットを送信することでバスのリセット状態を上書きするという手法により、非破壊的かつ透過的な調停が行われます。これは、調停によって、メッセージの内容が破壊されることなく、最も高い優先度のメッセージの送信が中断されることもないという意味です。各ノードが備える CAN コントローラは、送信処理を実行しながらバスの状態の監視も行います。それにより、ほかのノードの優先順位が高いかどうかを調べます。

バスがアクティブな状態（ノードがメッセージを送信中であるか、または送信を終了したばかりの状態）であれば、ほかのいかなるノードも送信を試みることはありません。バスがアイドル状態（少なくともインターフレーム・スペースの期間以上）にあり、1つ以上のノードが送信を開始したら調停が行われます。調停によって権限を勝ち取ったノードは、ほかのノードに影響を与えることなく、メッセージの送信を継続することができます。

ここで、図 6 を例にとり、2つのノードが同時に送信を試みたケースについて考えてみましょう。その場合、両方の CAN コントローラ

は送信を行いながらバスの状態も監視します。そして、ノード 2 が SID7 の送信を試みたときに、ノード 1 が、ドミナントの状態にするための値をバスに書き込み、調停の結果、権限を勝ち取ったとします。すると、ノード 2 は、バスがインターフレーム・スペースによってアイドル状態が維持されている間は送信を試みることはありません。ノード 1 は送信を続けますが、エラーが発生していないか、あるいはほかのノードが調停フィールドによるインターバルの間に権限を勝ち取っていないかということを把握するためにバスの状態を監視します。ここで、ノード 1 によって送信された最初の 5 つのドミナント・ビットの後に、ビット・スタッフィングが行われていることに注目してください。このビット・データは、ノードがタイミング同期をとるうえで重要な役割を果たします。また、エラー検出のためにも使用されます。

## メッセージの優先順位

CAN メッセージのフレームは、MSB から送信されます。先述したように、フレームの最初には調停シーケンスの一部となるメッセージ ID があります。先頭に 0 が多い ID を持つメッセージほど、優先順位は高くなります。また、リモート・フレーム（RTR ビットが 1）は、同じ ID を持つデータ・フレームよりも優先順位が低くなります。

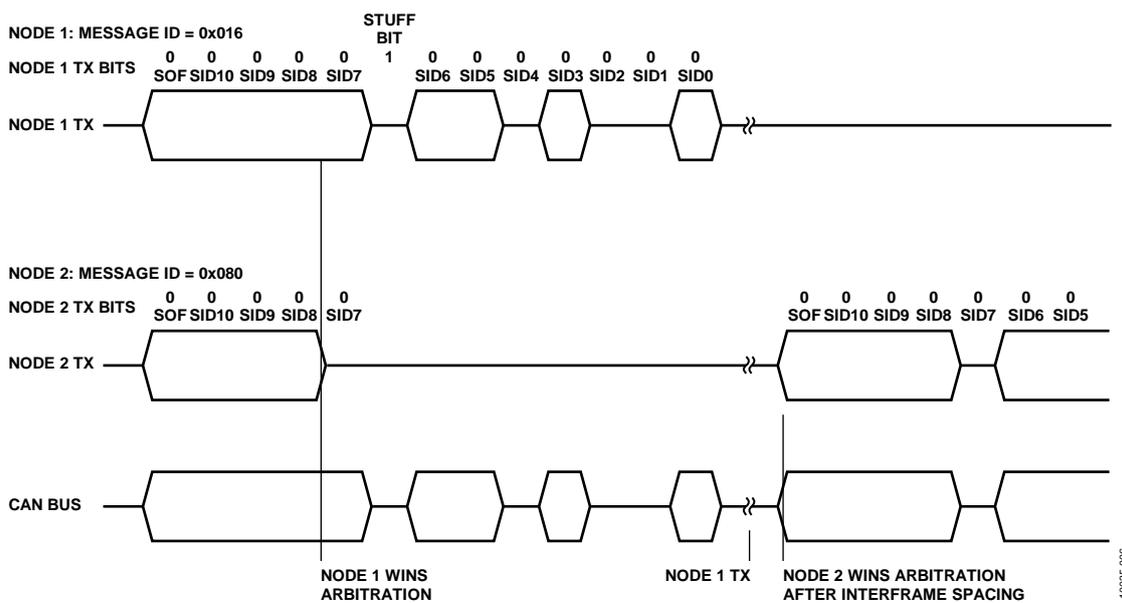


図 6. ノード間の調停の例

## エラー処理のメカニズム

CANには、エラーの検出 ハンドリングを行うためのさまざまなメカニズムが用意されています。まず、エラーの種類としては、以下のようなものが定義されています。

- ビット・エラー：送信ビットの検証
- スタッフ・エラー：ビット・スタッフィングのルール違反
- CRC エラー：CRC によるエラー検出
- フォーム・エラー：固定フォーマットのフィールドの検証
- ACK エラー：ACK メッセージの不検出

そして、これらのエラーは、以下のメカニズムを用いてハンドリングされます。

- エラー・フレーム
- エラー・カウンタ
- ノードのエラー状態

CAN コントローラは、各エラーを検出/ハンドリングし、CAN 2.0B に従って CAN メッセージをフレーミングすることでエラー処理をサポートします。

### エラー・フレーム

エラー・フレームは、連続する 6 ビットのデータによって識別されます。このビット列は、エラーを送信しているノードの状態によ

てドミナントにもリセッピにもなります。そして、このビット列は正常な送信ルールから逸脱しているため、ほかのノードによる検出が可能になります。あるノードがエラーを検出した場合、そのノードは即座にエラー・フレームを送出します。エラー・フレームは、それ自身がエラーを表現しますが、ほかのノードも同時にエラー・フレームを送信するので、結果として複数のエラー・フレームが重畳されることとなります。

エラー・フレームの 1 つの構成要素は、連続する 6 ビットのデータから成るエラー・フラグです。これに加え、エラー・フレームにはエラー・デリミタも含まれます。エラー・デリミタは 8 ビットの連続したリセッピから成り、エラー・フレームの終了を表します。図 7 は、エラーを含まない正常なフレームの送信例と、エラーを含むフレームおよびそれに続くエラー・フレームの送信例を示したものです。エラー・フラグを送信しているノードは、バスがリセッピの状態にあることが検出されるまでリセッピ・ビットを送出し続けます。その後、追加のリセッピ・ビットを 7 個送出します。このようなプロセスの後、そのノードは通常のフレームの送信を試みます。

### エラー・カウンタ

すべての CAN ノードは、送信エラー・カウンタと受信エラー・カウンタを備えている必要があります。これらは送信エラーまたは受信エラーが発生するたびに、1 ずつカウントアップされます。そして、メッセージの送信または受信が成功するたびに 1 ずつカウントダウンされます。

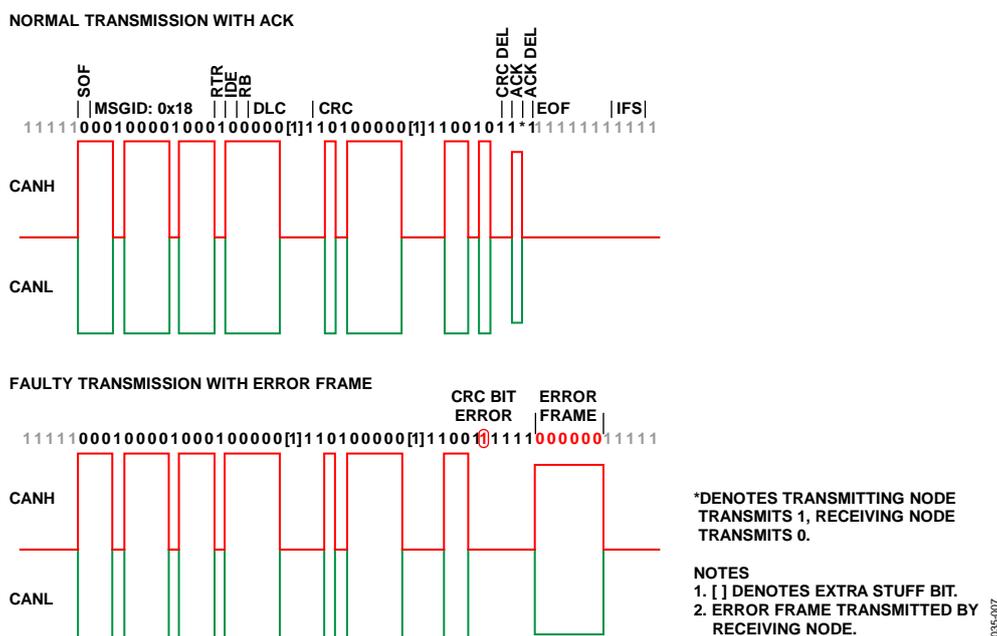


図 7. 正常なフレームとエラーを含むフレームの送信例

## ノードのエラー状態

エラー・カウンタの値に応じて、ノードは以下の3つのうちいずれかの状態になります。

- エラー・アクティブ
- エラー・パッシブ
- バス・オフ

エラー・アクティブは、ノードがバス上で通信を行うことができる状態です。そして、エラーが検出された場合には、アクティブ・エラー・フラグが送信されます。ノードがエラー・アクティブの状態を維持するには、送信/受信エラー・カウンタの値が127以下でなければなりません。

エラー・パッシブの状態でも、ノードはバス上で通信を行うことができます。そして、エラーが発生した場合には、パッシブ・エラー・フラグが送信されます。送信/受信エラー・カウンタの値が128以上になったときに、ノードはこの状態に入ります。ノードがエラー・アクティブの状態になると、両カウンタの値は再度127以下に戻ります。

バス・オフの状態では、ノードはバス上で通信を行うことができません。この状態は送信エラー・カウンタの値が256以上になると発生します。連続した11個のリセッシブ・ビットが128回検出されると、ノードはエラー・カウンタの値を0にリセットし、エラー・アクティブの状態に入ることができます。

## 送信ビットの検証

送信中のノードは、送信を行いながら、各ビットが意図したとおりにバス上に現われるかどうかを検証するためにバスの監視を行います。バス上で逆極性のビットが検出された場合には、送信エラーの一形態であるビット・エラーが生じたと判定されます。ただし、逆極性のビットが検出されてもエラーにはならないケースがあります。それは、以下の2つです。

- 調停フィールドがリセッシブとして送出されたが、ほかのノードがメッセージに対してACK応答を返し、バスの状態がドミナントに変わると予測される場合
- パッシブ・エラー・フラグを送出しているノードがドミナントを検出した場合

## ビット・スタッフィングのルール違反

ビット・スタッフィングとは、あるノードが送信中のビット・ストリームに同じ値のメッセージ・ビットが5個連続したら、その後に補完ビットを1個挿入するというルールのことです。このルールによって同期をとる仕組みが実現されます。この方法は、データ・フレームにおいて、固定ビットの構造を持つCRCデリミタ、ACKフィールド、EOFを除くすべてのデータおよびリモート・フレームの全体に対して適用されます。

ビット・スタッフィングの対象となる部分でリセッシブ・ビットまたはドミナント・ビットが6個以上連続した場合、スタッフ・エラーとなります。そして、ビット・スタッフィングのルールに違反しているというメッセージを受信したノードは、受信エラーであると判断してノードの状態に依存する処理を始めます。例えば、アクティブ・エラー・フレームやパッシブ・エラー・フレームを送出するといった具合です。

## CRCによるエラー検出

CRCフィールドは、フレームの最初の部分(SOFからデータ・フィールドまで)に基づいて算出されるビット列です。送信側のノードは、CRCフィールドの値(CRC符号)を求めるために、CANのデータを生成多項式で除算して剰余値を求め、CANデータに付加して多項式を生成します。

一方、受信側のノードは、受信した多項式を生成多項式で除算して、データとCRC符号から成る多項式を生成します。エラーが発生していなければ、受信側で除算した結果の剰余はゼロになるはずですが、エラー(CRCエラー)が発生している場合(つまり、極性が逆転したビットが存在する場合)には、CRCの検査結果はフェイルとなります。

## 固定フォーマットのフィールドの検証

CANメッセージのビット・フィールドのうち、CRCデリミタやACKフィールド、EOFなどは値が固定されています。受信側のノードは、これら固定フォーマットのフィールドの値が正しいかどうかをチェックし、フォーム・エラーが発生していないことを確認します。

## ACKメッセージの不検出

調停フィールドがリセッシブとして送信された場合にも、送信側のノードはそのタイミングでバス上のドミナント・ビットをチェックします。そのドミナント・ビットがACK応答です。この確認応答は、メッセージを正しく受信したすべてのノードから送られます。ほかのノードが確認応答を返さなかった場合には、送信エラー(ACKエラー)となります。なお、図7には、受信側のノードによってCANメッセージにACKビットが挿入された様子が示されています。そして、ACKの信号のみ小さな差動振幅で示されています。これは、受信側のノードが、送信側のノードのプロープ・ポイントから見てバスの逆の一端にある場合に観察される様子を実現したものです。

## 物理バス

### CAN 物理バスの特徴

CAN の物理層の様子は ISO 11898-2 で規定されています。この規格では、公称値が  $120\ \Omega$ （最小値が  $95\ \Omega$ 、最大値が  $140\ \Omega$ ）のインピーダンスを持つ平行ケーブルについて規定しています。ISO 11898-2 では、シールドなしのケーブルの使用も認められていますが、一般に、EMC（電磁適合性）の要件が厳しい場合には、シールド付きのツイスト・ペア・ケーブルを使用する必要があります。

CAN では、データ通信速度が  $1\text{Mbps}$  の条件で最長  $40\text{m}$  のケーブルを使用できると規定されています。データ通信速度が低い場合には、より長いケーブルを使用できるケースもあります。ISO 11898-2 では、短いスタブを用いて個々のノードを接続する場合の配線トポロジーについて規定しています。スタブの長さは最小限に抑えてください（データ速度が  $1\text{Mbps}$  の場合で  $0.3\text{m}$  以下）。

### 終端

伝送線には、2つの電流パスがあります。1つはドライバから受信側に電流を運ぶパス、もう1つはドライバに電流を戻すリターン・パスです。CAN のリンクには、1つの終端を共有する2本の信号線に加えてグラウンド・リターン・パスも存在します。そのため若干複雑にはなりますが、伝送における基本的な原理は適用可能です。CAN においても、信頼性の高い通信を実現するためには、伝送線内の反射をできるだけ小さく抑えることが重要です。これは、ケーブルを適切に終端することによってのみ可能となります。図 8 は、CAN アプリケーションで用いられる2種類の終端方法を表したものです。

反射は、信号の遷移中と遷移直後に即座に発生します。長い伝送線上では反射は長時間継続し、受信側で論理レベルの取り違えを生じさせることがあります。短い伝送線であれば、反射は速やかに終了するので、受信側での論理レベルには影響は及びません。

### 並列終端

CAN アプリケーションでは、バス上のすべてのノードがデータを送信する可能性があります。そのため、バスの両端を終端しなければなりません。リンクの各端部にはケーブルの特性インピーダンスに等しい終端抵抗を接続します。終端抵抗の推奨値は  $120\ \Omega$ （最小値は  $100\ \Omega$ 、最大値は  $130\ \Omega$ ）です。ノードがいくつバスに接続されていても、ネットワーク内に2つ以上の終端抵抗を配置してはなりません。必要以上の終端は、ドライバに必要以上の負荷を与えることになるからです。

ISO 11898-2 では、ノードに終端抵抗を組み込むのではなく、バスの最遠端に終端抵抗を接続することを推奨しています。これは終端抵抗を含むノードが切断された場合に、終端抵抗が存在しなくなるという状況を生じさせないためです。この考え方には、バスに2つ以上の終端抵抗が接続されるのを防止するという意図と、バスの両端ではなく、バス内のほかの位置に終端抵抗が配置されるのを防止するという意図も込められています。

### コモンモード・フィルタの併用

信号品質をさらに高めるためには、リンク両端の終端抵抗をそれぞれ2つに分割し、中間にコモンモード・フィルタ用のコンデンサを接続します。これにより、バス線からの不要な高周波ノイズを遮断することができ、コモンモード・ノイズの放出を抑えることが可能になります。

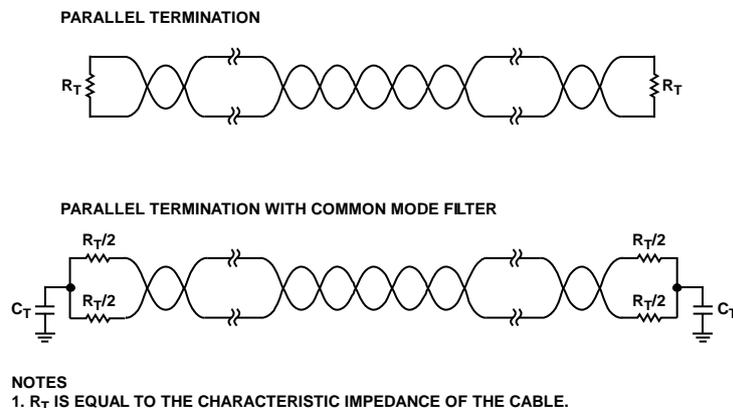


図 8. CAN アプリケーションにおける終端方法

## 絶縁

CAN アプリケーションでは、バス上の異なるノードでグラウンド電位が少しずれてしまうほど長いリンクが使用されることがよくあります。これにより、アースとグラウンドのうち、抵抗値が低いほうのパスを通してグラウンド電流が流れます。すべてのノードをアースに接続するために単一の電源システムを使用するのなら、上記の問題に起因するノイズは抑えられる可能性があります。しかし、それでも、モーターやスイッチなど、電気的なノイズを発生するデバイスが存在し、それらがシステムにとってのノイズ源になることには変わりはありません。

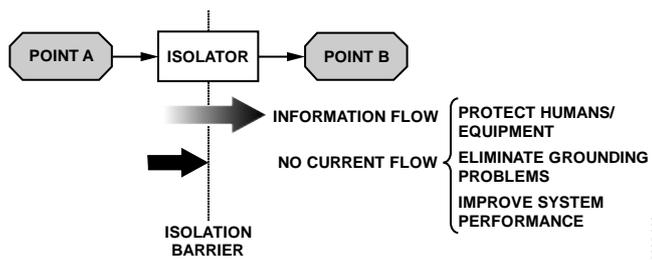


図 9. グラウンド電流を抑えながら情報の伝送を可能にするガルバニック絶縁

アプリケーションによっては、1つの電源システムに加えて、追加の電源システムが必要になることがあります。これは、アースへのインピーダンスを増加させることにつながるでしょう。また、追加の電源からのグラウンド電流が、リンクのグラウンド線へのパスに流れる可能性が高くなるはずで、これらの問題を解決/軽減するには、リンクを絶縁する方法を用いるとよいでしょう。ガルバニック絶縁は、システム内の異なるノードにおけるアースの電位がトランシーバのコモンモードの範囲内にあるという保証がない場合に推奨されるソリューションです。ガルバニック絶縁を利用すれば、電流の流れを遮断して、情報のみを伝送することが可能になります(図 9)。

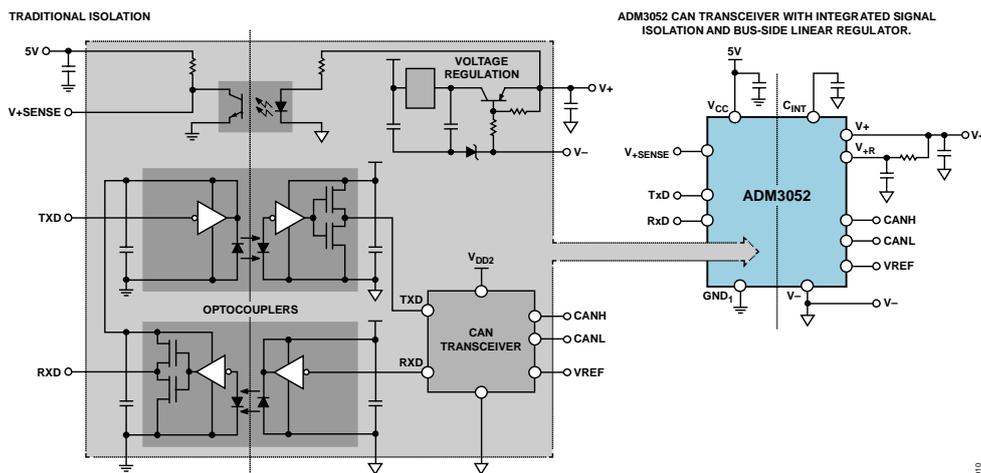


図 10. 従来の絶縁回路を用いた方法と ADM3052 の比較

## 絶縁対応の CAN トランシーバ

アナログ・デバイセズはさまざまなアプリケーション向けの CAN トランシーバを提供しています。以下、本稿の冒頭で紹介した 4 製品の概要を再び示しておきます。

- **ADM3054** : 5kVrms の信号絶縁機能を備える高速 CAN トランシーバ。すでに絶縁された 5V 電源が存在するシステムに適している
- **ADM3053** : CAN アプリケーション向けの完全絶縁型高速 CAN トランシーバ。2.5kVrms の信号絶縁機能と絶縁型 DC/DC 電源機能を備える
- **ADM3052** : 24V のバス電源に対応可能なリニア・レギュレータと、5kVrms の信号絶縁機能を備える高速 CAN トランシーバ。例えば、DeviceNet アプリケーションで使用可能
- **ADM3051** : 非絶縁アプリケーションや従来の絶縁方法を用いたアプリケーション向けの高速 CAN トランシーバ

ガルバニック絶縁を使用する場合、アプリケーションのバス側に電源を供給する方法が必要になります。DeviceNet アプリケーションで、CAN バス上のすべてのノードに 24V の電圧が供給される場合を例にとります。このアプリケーションで ADM3052 を使用するとしましょう。ADM3052 は、図 10 に示すように、高い集積レベルを実現した製品で、最少限の外付け部品を使用するだけで済みます。iCoupler 技術を利用した信号絶縁回路を内蔵しており、5kVrms の絶縁耐力を備えています。加えて、24V のバス電源から自身のバス側回路に 5V を供給するためのリニア・レギュレータも内蔵しています。一方、5V の絶縁電源が別途提供されているアプリケーションの場合、またはバス電源がさまざまな回路に使われている場合には、ADM3054 を採用するとよいでしょう。その場合、同製品のバス側には、5V の絶縁電源を使用します。

アプリケーションによっては、回路のロジック側の電源からの電力が絶縁境界を超えて伝達することが要求される場合もあります。従来、これは、発振器、トランス、個別素子を用いたレギュレータで構成される DC/DC コンバータを使用することによって実現されてきました。

それに対し、ADM3053 では、2.5kVrms の信号絶縁回路に加えて、isoPower 技術を用いた絶縁型 DC/DC コンバータも内蔵しています。それにより、バス側に 5V の電源電圧を供給することができます。図 11 は、ADM3053 と、個別素子を用いて絶縁機能を実現した場合を比較したものです。図 12 には ADM3053 の機能ブロック図を示しました。

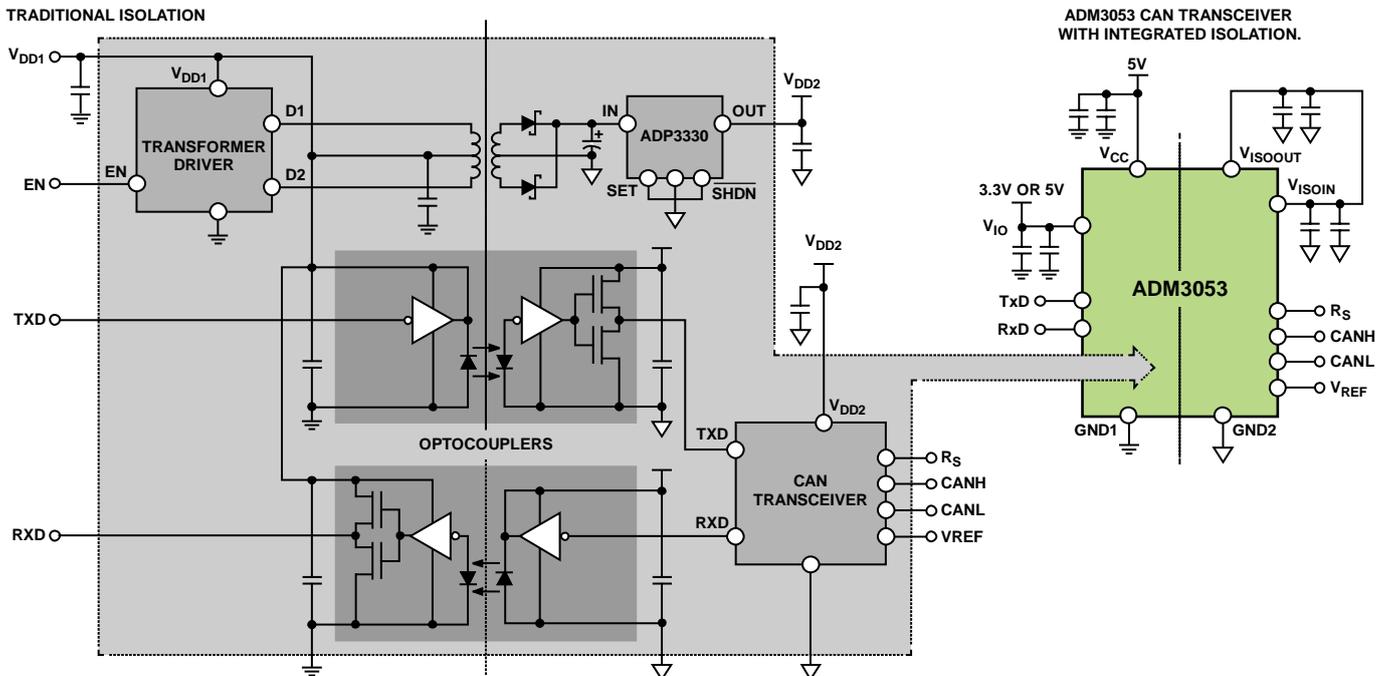


図 11. 従来の絶縁回路を用いた方法と ADM3053 の比較

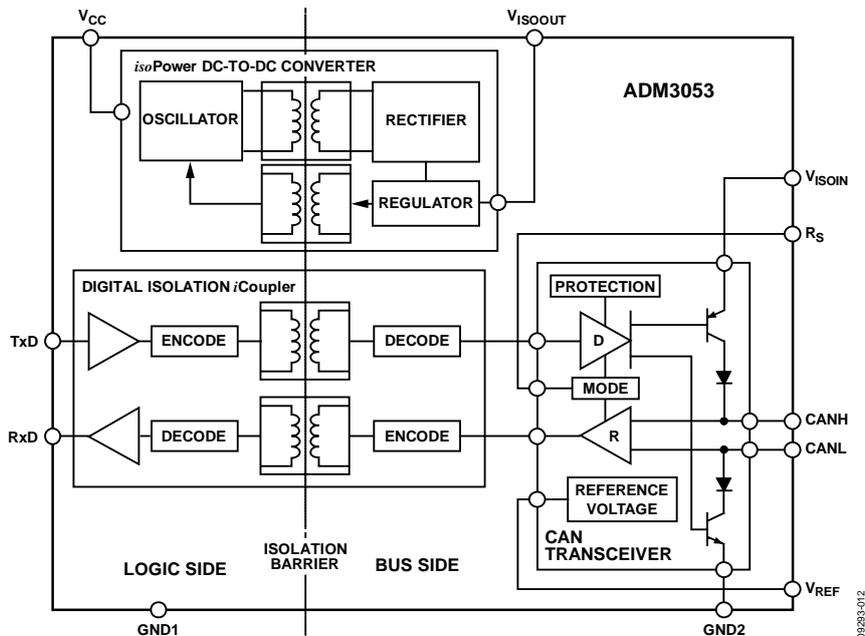


図 12. ADM3053 の機能ブロック図

## ストレスからの保護

### 結線ミスと短絡

CANアプリケーションの中には、DeviceNetのように、バス線上でデータを伝送することに加え、バス線からCANHとCANLの電源も供給しなければならないものがあります。そのようなシステムでは、通常 24V のバス電圧が共通グラウンドとバス線に沿って分配されます。

この場合、各 CAN ノードのコネクタは CANH、CANL、24V、グラウンドの 4 本の線を持つことになります。これらの信号に結線ミスがあった場合でも回路が損傷しないようにするには、24V のバス電源を用いる CAN ノードはすべてのバス線 (CANH、CANL、電源、グラウンド) 上に保護機能を備えている必要があります。DeviceNet のプロトコルでは、結線ミスから回路を保護することが要件となっています。バス電源用のレギュレータを内蔵する ADM3052 は、結線ミスに対応できるよう、CANH、CANL、V+ (電源)、V- (グラウンド) ピンのそれぞれに±36V の保護耐性を備えています。

バスからの電源を使用しないほかの CAN ノードにも、このような保護が必要となります。加えて、CANH や CANL が電源またはグラウンドに短絡した場合に備える保護機能も必要となります。これらの理由から、ADM3051、ADM3053、ADM3054 では、CANH ピン、CANL ピンに±36V の保護耐性を持たせています。

### 過渡的な高電圧への耐性

工業用アプリケーションと計装アプリケーション (I&I アプリケーション) では、電源変動、誘導性スイッチング、静電放電により大きな過渡電圧が発生し、CAN トランシーバに損傷が生じる可能性があります。工業用アプリケーション向けには、以下の 3 つの保護規格が存在します。

- IEC 61000-4-2 : ESD 保護
- IEC 61000-4-4 : EFT (Electrical Fast Transient) 保護
- IEC 61000-4-5 : サージ保護

ADM3051、ADM3053、ADM3054 は、すべてのピンが基本的な ESD 保護機能を備えています。TVS (Transient Voltage Suppression : 過渡電圧抑制) ダイオードのような外部クランプ素子をバス・ピンに接続すれば、保護のレベルをさらに高めることが可能です。TVS ダイオードは、CAN トランシーバのようなシリコン・デバイスを過渡電圧から保護するために一般的に使用されています。

TVS ダイオードでは、PN 接合がアヴァランシェ降伏により低インピーダンス化することを利用し、電圧スパイクを制限値にクランプします。これによって回路が保護されます。TVS ダイオードは、降伏電圧以下の条件では、コンデンサと並列に大きな抵抗が接続された回路でモデル化することができます。過渡電圧が発生し、サージ電圧が降伏電圧より高くなると、TVS ダイオードの抵抗値は減少し、回路に加わる電圧を一定のクランプ値で保持します。TVS ダイオードを使用する際には、クランプ電圧が保護の対象とするデバイスの定格電圧以下であるものを選択します。過渡電圧は瞬時 (1ns 以下) にクランプされ、過渡電流は TVS ダイオードを流れます (図 13)。

CAN アプリケーションにおける TVS ダイオードの役割は、バス上の電圧を最大定格以下にクランプすることによって CAN トランシーバを保護することにあります。TVS ダイオード製品の中には、CAN アプリケーション専用に設計されたものもあります。図 14 に示したのは、CAN バス上で過渡電圧を抑制するために、双方向ツェナー・ダイオードを TVS 素子として用いた回路の例です。

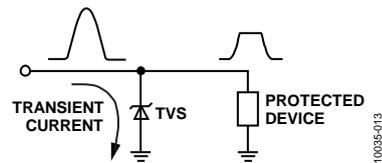


図 13. TVS ダイオードの役割

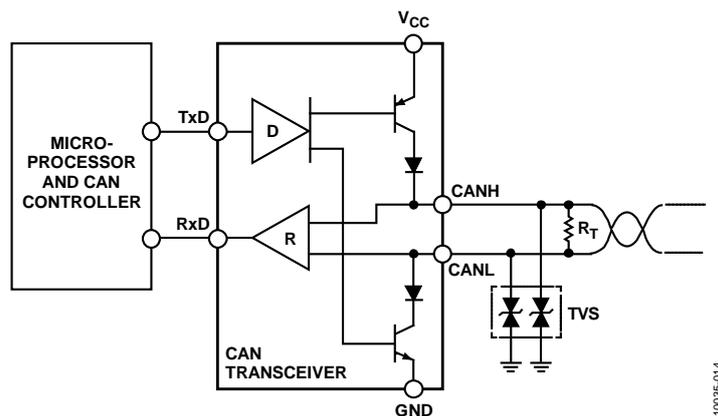


図 14. 双方向ツェナー・ダイオードの利用例

## 参考文献

- <sup>1</sup> ISO 11898-1:2003, “Road Vehicles — Controller Area Network (CAN) — Part 1: Data Link Layer and Physical Signalling,” (ISO International Standard, 2003).
- <sup>2</sup> ISO 11898-2:2003, “Road Vehicles — Controller Area Network (CAN) — Part 2: High Speed Medium Access Unit,” (ISO International Standard, 2003).
- <sup>3</sup> AN-960 アプリケーション・ノート : [RS-485/RS-422 回路の実装ガイド](#)
- <sup>4</sup> CAN Specification 2.0, Part B, (CAN in Automation, 1991).
- <sup>5</sup> Boaxing Chen, “[iCoupler® Products with isoPower™ Technology: Signal and Power Transfer Across Isolation Barrier Using Micro-Transformers,](#)” Technical Article, (Analog Devices, Inc., 2006).
- <sup>6</sup> DeviceNet™ Technical Overview, (Open DeviceNet™ Vendor Association, Inc., 2001), X to XI.
- <sup>7</sup> EN 50325-4:2002, “Industrial Communication Subsystem Based on ISO 11898 (CAN) for Controller-Device Interfaces, CANopen,” (CAN in Automation, 2002).

## 関連リンク

リソース	説明
<a href="#">ADM3051</a>	工業用高速 CAN トランシーバ、24V システム向け、バス・プロテクション付
<a href="#">ADM3052</a>	絶縁型 CAN トランシーバ、高電圧・バス側・リニア・レギュレータ内蔵
<a href="#">ADM3053</a>	信号および電源絶縁を備えた CAN トランシーバ、絶縁型 DC/DC コンバータ内蔵
<a href="#">ADM3054</a>	CAN トランシーバ、高速、5kV 信号絶縁、バス・プロテクション機能
<a href="#">ADSP-BF548</a>	高性能な統合マルチメディア Blackfin プロセッサ
<a href="#">AN-960</a>	RS-485/RS-422 回路の実装ガイド