

第 8 章

FlexRay プロトコルを 実装する

——実設計に即した仕様書の解釈



本章では、2005年5月に公開されたFlexRay プロトコルのバージョン2.1をもとに、仕様の解釈や実装方法を解説する。FlexRayに対応したネットワーク・システムを開発する際の重要な項目として、トポロジ、ノード数、リアルタイム性、ネットワーク速度、フォールト・トレラント機能、最大データ・サイズ、フレーム形式が挙げられる。

(編集部)



1 トポロジとメディア・アクセス方式

FlexRay コンソーシアムは2000年に発足しました。FlexRayは、「車載LANの高速化」という市場要求に対応するために策定されている規格です。データ転送速度は最大10Mbpsとされており、現在パワートレイン系に採用されている500kbpsのCAN-C(高速CAN)を置き換えることが予想されます。また、ドイツのBMW社やDimler Chrysler社、米国General Motors社など、世界の大手自動車メーカーがコンソーシアムに参加したこともあり、これからの車載制御ネットワーク・プロトコルとして注目されています。とくに日本では、トヨタ自動車や日産自動車、本田技研工業、マツダなどのおもだった自動車メーカーが参加し、さらにFlexRayの標準化が加速しました(表1)。

筆者は、機会があるごとにFlexRay プロトコルの概要を各種の技術誌およびセミナーなどでお話ししてきました。2004年7月にバージョン2.0が、また2005年5月にはバージョン2.1が公開されたことで、ようやく実装まで含めた詳細を話せるようになりました。本章では、このバージョン2.1の内容を中心に、実設計を視野に入れた仕様の解釈と実装方法について説明していきたいと思えます^{注1}。

注1：なお、仕様書に修正が加えられることがあるため、実際に設計する際には最新の情報をFlexRay コンソーシアム(<http://www.flexray-group.org/>)から入手していただきたい。

表1 FlexRay コンソーシアムの組織

2005年9月末現在のメンバ。2003年末から2004年の初めにかけて、日本を代表する自動車メーカーであるトヨタ自動車や日産自動車、本田技研工業がプレミアム・アソシエイツ・メンバとして入会した。今後は各自動車メーカーがどのようなアプリケーションでFlexRayを搭載するかが注目される。なお、最近のメンバについてはFlexRay コンソーシアムのホームページ (<http://www.flexray-group.org/>)を参照。

コア・メンバ(7社)	BMW社, Bosch社, DaimlerChrysler社, Freescale Semiconductor社, General Motors社, Royal Philips Electronics社, Volkswagen社
プレミアム・アソシエイツ・メンバ(13社)	ContiTeves社, Delphi社, デンソー, Fiat社, Ford Motor社, 本田技研工業, Hyundai社, マツダ, 日産自動車, PSA Peugeot Citroën社, Renault社, トヨタ自動車, Tyco Electronics社
アソシエイツ・メンバ(65社)	アドバンスド・データ・コントロールズ, アイシン精機, Alpine Electronics社, AMI Semiconductor社, Atmel社, austriamicrosystems社, Avidyne社, BERATA社, BerTrandt社, カルソニックカンセイ, EADS社, Elmos Semiconductor社, EPCOS社, ESG社, Esterel Technologies社, Eurospace社, 富士通, 富士通テン, Haldex社, Hella社, 日立電線, 日立製作所, Hyundai Autonet社, IAV社, Infineon Technologies社, IPETRONIK社, iRoC Technologies社, いすゞ自動車, 三菱電機, 村田製作所, NECエレクトロニクス, 日本精機, NSKステアリングシステムズ, 岡谷エレクトロニクス, 沖電気工業, Pacifica Group Technologies社, Porsche社, Preh社, ルネサス テクノロジ, RWTÜV社, SCANIA社, Siemens VDO Automotive社, SP社, STMicroelectronics社, 富士重工業, 住友電工, サニー技研, スズキ, Tata Elxsi社, TDK, Texas Instruments社, ThyssenKrupp Automotive Mechatronics社, TNI Software社, 東海理化, 豊田通商, TRW Conekt社, Valeo社, Verifica社, Visteon社, Volke社, Würth Elektronik社, Xilinx社, ヤマハ発動機, 矢崎, 横河電機
デベロッパ・メンバ(43社)	3SOFT社, ARC Seibersdorf research社, Berner & Mattner Systemtechnik社, C&S社, Cadence Design Systems社, CANway Technology社, CapeWare社, Cardec社, cbb software社, CRST社, Dearborn Group社, DECOMSYS社, dSPACE社, ETAS社, FIZ社, GIGA TRONIK社, GÖPEL electronic社, Hitex Development Tools社, IMD社, Intrepid Control Systems社, IXXAT社, K2L社, Kleinkecht Automotive社, Lauterbach Datentechnik社, Micron Electronic Devices社, MicroSys社, Mirabilis Design社, Mission Level Dsign社, National Instruments社, NSI社, proTime社, SEDES Special Electronic Design社, Softing社, SystemA Engineering社, TECWINGS社, Tektronix社, トヨタマックス, TT Automotive社, TZM社, Vector社, Volcano Automotive社, Warwick Control Technologies社, Weise社

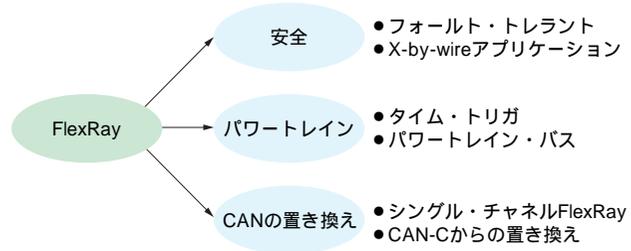
1.1 仕様の構成と方向性

FlexRay プロトコルのバージョン2.1はFlexRay コンソーシアムのWebサイト(<http://www.flexray-group.org/>)からダウンロードできます。プロトコル仕様書は全9章に加え、付録A, Bからなっており、200ページ強のボリュームがあります。また、仕様の記述はSDL(Specification and Description Language)をベースとしています。なお、FlexRayでは本章で取り上げるプロトコル仕様書のほかに、「電気的物理層仕様書」と「電気的物理層のアプリケーション・ノート」も発行されています(バス・ガーディアン仕様書は保留となった)。

本章では、FlexRayの仕様書について極力日本語に訳して説明しますが、中には英語の表現をそのまま流用することがあります。とくにパラメータはそのまま表記していきます。これは、設計時には基本的に英語版の仕様書が基準になるので、ここで取り上げる内容や表現が読者のみなさんに誤解を与えることがないようにするためです。

なお、本章ではプロトコル仕様書の内容をすべて取り上げるわけではありません。設計するうえで基本となる項目や、仕様書を読んだだけではわかりにくい項目などを重点的に解説します。

図1
FlexRay アプリケーションの方向性
FlexRayには三つの方向性がある。すなわち、安全系アプリケーション、パワートレイン制御系アプリケーション、CANの置き換えである。



● FlexRayのターゲット・アプリケーション分野は三つ

現在、自動車は世界的に普及しています。このため、環境保護の観点からより精密な制御が要求されるようになりました。これを実現するために、自動車内の制御は機械的制御から電子的制御へと着実に移行しています。また、安全面から新しいアプリケーションが登場し始めています。例えば、エア・バッグに代表される衝突時における乗員の傷害を軽減することを目的とした「パッシブ・セーフティ」に加えて、自動車の衝突そのものを回避することを目的とした「アクティブ・セーフティ」が搭載されるようになりました。

FlexRayは、図1に示すように現在のところ三つの方向性が考えられています。最初に市場に投入されるのは、おそらくCAN-Cの置き換えのアプリケーションだと思われます。

1.2 ネットワーク設計の要件を決める

ネットワークのシステム設計に必要なおもな項目を以下に挙げます。このほかにもいろいろありますが、これでクラスタ^{注2}の大まかな仕様を決めることができます。

- トポロジ
- ノード数
- リアルタイム性
- ネットワーク速度
- フォールト・トレラント(耐故障性)機能
- 最大データ・サイズ
- フレーム形式

こうした項目について、FlexRayネットワークではどのように仕様が決められているのでしょうか。それを本章では詳しく説明していきます。

注2：クラスタは、複数のノード(ECU：electronic control unit)の集まりを指す。

● トポロジは「バス型」、「スター型」、「混載型」に対応

自動車の場合、大型車、中型車、小型車、商用車、乗用車などさまざまな形状があります。ここにネットワークのワイヤを設置しようとする、柔軟性が要求されます。この要求にこたえるため、FlexRayのトポロジは、バス型(図2)、スター型(図3)、バスとスターの混載型(図4)に対応しています。

電氣的物理層の仕様では、バス型では1チャンネル当たりのノード間のポイント・ツー・ポイントのバスのワイヤ長は最大24m($I_{Bus} = 24m \text{ Max}$)、ノード数は最大22ノード($n_{StubNodes} = 22 \text{ Max}$)となっています。また、隣り合う二つのノードの距離は最小150mm($I_{StubDistance_{M,N}} = 150mm \text{ Min}$)に規定されています。

スター型には、パッシブ・タイプとアクティブ・タイプの2種類があります。パッシブ・スター型は基本的にバス型と同じ考えかたですが、 $I_{StubDistance_{M,N}}$ がゼロになったものをFlexRayの仕様ではパッシブ・スター型と位置づけています。パッシブ・スター型でポイント・ツー・ポイント接続を考えた場合、ワイヤ長は最大24m($I_{PassiveStar_N} + I_{PassiveStar_M} = 24m \text{ Max}$)、ノード数は最大22ノード($n_{StarNode} = 22 \text{ Max}$)です。

図2
バス型トポロジ

バス型では、1チャンネル当たり、ノード間のポイント・ツー・ポイントのバスのワイヤ長は最大24m($I_{Bus} = 24m \text{ Max}$)、ノード数は最大22ノード($n_{StubNodes} = 22 \text{ Max}$)、二つのノードの距離は最小150mm($I_{StubDistance_{M,N}} = 150mm \text{ Min}$)に規定されている。

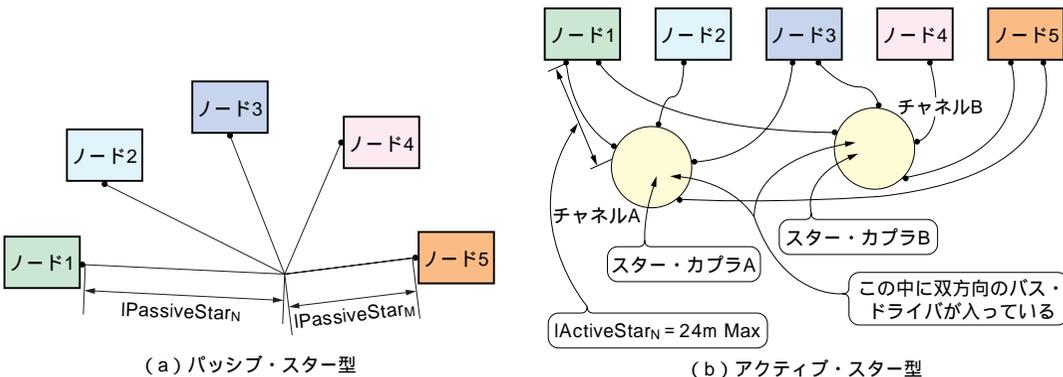
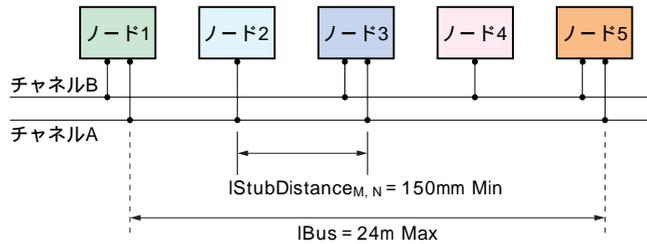


図3 スター型トポロジ

スター型のトポロジには、パッシブ・タイプとアクティブ・タイプの2種類がある。

一方、アクティブ・スター型は、図3(b)に示すように各ノードを「スター・カブラ」と呼ばれる装置で接続しています。ワイヤ長は最大24m ($IActiveStar_N = 24m \text{ Max}$)ですが、これはノード間ではなく、ノードとスター・カブラの距離です。アクティブ・スター型にはバス・ドライバ機能が備わっており、これによって最大24mのワイヤ長を実現しています。また、アクティブ・スターに接続されるノード数はバス・ドライバの数に依存するため、最大接続数はとくに規定されていません(アクティブ・スター型トポロジの詳細は、電気物理層仕様書 第9章を参照のこと)。

図3(c)は、アクティブ・スターを複数接続した例です。FlexRayではカスケード接続が仕様化されており、最大二つ ($nStarPath_{M,N} = 0 \text{ Min}, 2 \text{ Max}$)のアクティブ・スターをカスケード接続できます。アクティブ・スター間のワイヤ長は最大24m ($IStarStar = 24m \text{ Max}$)です。

図4のバスとスターの混載型のトポロジにおける電気的物理層は、前述したバス型とスター型の仕様に準じます。

ちなみに、FlexRay プロトコル仕様書では1クラスタの最大ノード数は64ノード ($cControllerMax = 64$)と規定されています。プロトコル仕様書と電気的物理層仕様でノード数が異なるのは、一つにはプロトコルが物理層に依存しないように仕様化されているからです。例えば、今後64ノードを駆動できるバス・ドライバが出現したとしても、現在のプロトコルでこれを実現できるものと思います。

● リアルタイム性を理解するにはまずアクセス方式から

次に、リアルタイム性について考えましょう。ここでは、ブレーキ・システムを例に挙げて説明します(図5)。

運転者がブレーキ・ペダルを踏み込んで自動車が停止するまで、あるいは運転者の所望する速度になる

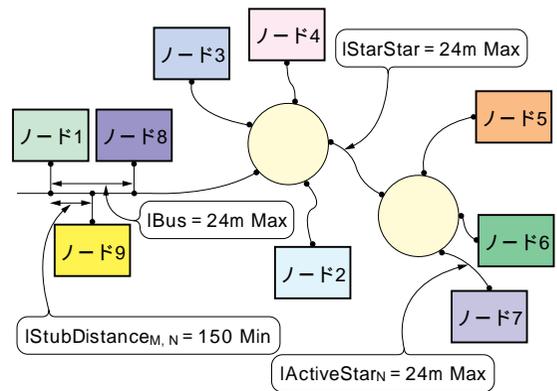
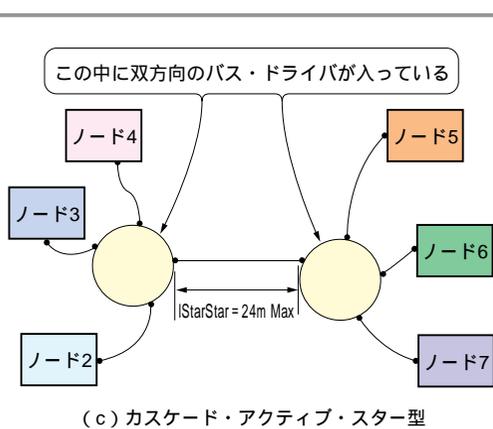


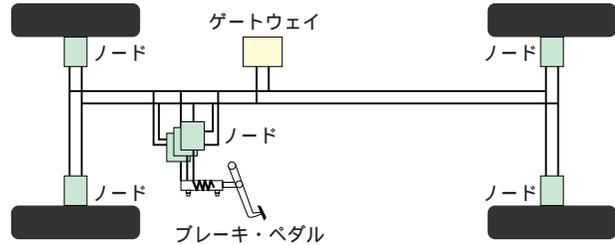
図4 バスとスターの混載型のトポロジ

このトポロジの電気的物理層は、前述したバス型とスター型の仕様に準じる。

図5

Brake-by-wire のアプリケーション例

X-by-wire 技術は、パワートレイン系を従来の機械的制御から電子的制御へ転換させる。X-by-wire のアプリケーションの一つとして、油圧ポンプではなく電気信号を用いてブレーキ制御を行う Brake-by-wire がある。図の中で、薄い灰色の四角はペダルやタイヤを制御するノード(ECU)を、濃い灰色の四角はゲートウェイを表す。



OSI参照モデル	アプリケーション層	第7層：アプリケーション層 データ通信を利用したさまざまなサービスを人間やほかのプログラムに提供する
	プレゼンテーション層	第6層：プレゼンテーション層 第5層から受け取ったデータをユーザがわかりやすい形式に変換したり、第7層から送られてくるデータを通信に適した形式に変換する
	セッション層	第5層：セッション層 通信プログラムどうしがデータの送受信を行うために仮想的に経路を確立したり、開放したりする
	トランスポート層	第4層：トランスポート層 セッション層からデータを受け付け、必要に応じてこれを小さな単位に分割してネットワーク層に与える。また、すべてが正しく相手に届くことを確認する
	ネットワーク層	第3層：ネットワーク層 パケットを送信元から受信先まで届けるための通信経路の選択や、通信経路内のアドレスの管理を行う
	データリンク層	第2層：データリンク層 ネットワーク層へのサービス・インターフェースの提供、物理層からのビットのフレーム生成、伝送エラーの取り扱い、一般的なリンク管理など
	メディア・アクセス副層	
物理層	第1層：物理層 データを通信回線に送出するための電氣的な変換や機械的な作業を受け持つ。ピンの形状やケーブルの特性などもこの層で定められる	

図6 OSI参照モデルの7階層

どの階層までを保証するかによって、リアルタイム性の定義が異なってくる。本章では、アプリケーション層まで含めてリアルタイム性を考える。

までが、ブレーキ・システムのリアルタイム性と考えることができます。なお、本章ではリアルタイム性を「アプリケーション層の実行からアプリケーション層の実行までの時間」と定義します。このネットワークのリアルタイム性については、OSI(Open System Interconnection)参照モデルの7階層のどこまでを保証するかで考えかたが変わってきます(図6)。制御対象によってアルゴリズムが異なるため、アプリケーションの実行時間は変化に富んでいます。そのため、ネットワーク・プロトコルのリアルタイム性を議論するとき、アプリケーション層を含めないこともあります。しかし、実使用を考えると、アプリケーション層までを含めることによってネットワーク速度やクラスタの規模などの仕様がおのずと決まるものと筆者は考えます(なお、ネットワークのリアルタイム性を考えるとき、パケットが確実に送受信できるかどうかについて検討する必要があるが、これについては本章の「3. 受信ノードにおけるデコーディング」