

FAOPデバイス制御用  
高速ネットワーク専門委員会  
成果報告書

平成18年3月

FAオープン推進協議会

F A O P デバイス制御用高速ネットワーク専門委員会成果報告書

平成18年3月

F A オープン推進協議会

<はじめに>

情報化が急速に進展する中、生産システムにおいても生産管理などの上位系とはネットワークによって情報の共有化・オープン化が実現されるようになってきています。しかし、生産プロセスや生産機械で発生する情報を様々な部署でもリアルタイム共有化できる機能や、生産機械を高速かつ確実に運転するために必要な情報を機械内外で自由に利用、転送できる情報機能は十分に実現されているとは言いきれません。その大きな理由の一つは、FAの制御用に適した高速・大容量ネットワーク技術が確立されていないことです。

これに対し、パソコンやOA、AV機器からはIEEE1394を始めとしてUSB2、ギガビットイーサネット、Bluetoothなどに代表される高速・大容量ネットワークが普及しつつある。これらは低コストにネットワーク化を可能とすることから、FA用としての導入の期待がもたれています。

そこで本委員会では、高速・大容量ネットワークの一つであるIEEE1394規格をベースに、これをFAコントローラとしての情報ネットワークへの適用に向けた実用的検討を行い、標準化に向けたデータ項目と記述様式の策定、ならびにそれを実現する実装仕様の提案を行うことを目的に活動してきました。

本報告書は、その活動成果を取り纏めたものです。本報告書がものづくりの新しい展開の始まりになれば、委員一同望外の喜びとなります。

最後に、本調査研究の実施に支援を頂いたFAオープン推進協議会関係者及び製造科学技術センター、また本報告書の作成に協力いただいた委員各位に謝意を表します。

平成18年3月

FAOPデバイス制御用高速ネットワーク専門委員会  
委員長 森 和男（独立行政法人 産業技術総合研究所）

## 目 次

1. 事業運営体制.....	1
1.1 委員会構成及び参加者.....	1
(1) デバイス制御用高速ネットワーク専門委員会.....	1
(2) IEEE1394対応デバイス制御実証評価WG.....	2
(3) 高速ネットワーク応用技術調査WG.....	2
1.2 委員会活動.....	2
2. 概要.....	3
2.1 委員会活動の背景.....	3
2.2 活動内容.....	3
(1) IEEE1394対応デバイス制御実証評価WG.....	3
(2) 高速ネットワーク応用技術調査WG.....	3
3. IEEE1394対応デバイス制御実証評価WG.....	5
3.1 活動の概要.....	5
3.1.1 背景と経緯.....	5
3.1.2 活動目的.....	5
3.1.3 IEEE1394規格の概要.....	5
3.2 デジタルサーボネットワークプロトコルの標準化に向けての活動.....	6
3.2.1 デジタルサーボネットワークプロトコル.....	6
(1) 1394 based Digital Servo Specification Draft 1.1.....	6
(2) 1394 based Digital Servo Specification Draft 1.2.....	7
3.2.2 デジタルサーボネットワークプロトコル実装仕様の概要.....	8
3.2.3 仕様の公開について.....	8
3.3 IEEE1394による実証.....	9
3.3.1 実証の目的.....	9
3.3.2 実証システムの概要.....	9
(1) アプリケーションの概要.....	9
(2) システム構成.....	10
3.3.3 実証の内容.....	11
(1) 実装仕様の動作検証.....	11
(2) ハーフチャネル転送方式の動作検証.....	14
(3) 耐環境性評価.....	18
3.4 まとめ.....	24
4. 高速ネットワーク応用技術調査WG.....	25
4.1 概要.....	25
4.2 産業用高速ネットワークについて.....	25
(1) 産業用ネットワークの現状と今後の動向.....	25
(2) 現在の技術動向.....	29
4.3 デバイス制御への応用提案.....	31

4.3.1	モーション系ネットワークに要求される機能・性能.....	3 1
4.3.2	高速・大容量ネットワークを利用したデバイス制御技術によって 期待される効果 .....	3 2
4.3.3	デバイス制御技術を活かした次世代F A応用システムや利用技術.....	3 2
(1)	産業用ロボットにおける通信技術への期待.....	3 3
(2)	等時性（絶対時間）を利用した装置間同期による加工の高付加価値化.....	3 4
(3)	高速ネットワーク技術によって期待される効果についての考察.....	3 5
(4)	モーション制御用オープンネットワークとしての要求仕様.....	3 6

別冊 1394 based Digital Servo Specification Ver 1.0 [Mar. 15, 2006]

## 1. 事業運営体制

デバイス制御用高速ネットワーク専門委員会のもとに、IEEE 1394対応デバイス制御実証評価ワーキンググループおよび高速ネットワーク応用技術調査ワーキンググループを設置し、調査研究を実施した。

### 1.1 委員会構成及び参加者

#### (1) デバイス制御用高速ネットワーク専門委員会

##### ● 委員長

森 和男 独立行政法人 産業技術総合研究所 ものづくり先端技術研究センター長

##### ● 委員

鈴木 裕 九州工業大学 情報工学部機械システム工学科 教授

相田 忠勝 富士電機機器制御(株) 技術本部システム技術第一部 担当課長

上野 高廣 川崎重工業(株) 技術開発本部システム技術開発センターメカトロ開発部  
メカトロ制御グループ 主管研究員

牛尾 裕介 三菱電機(株) 名古屋製作所開発部 専任

太田 俊 三菱電機(株) 機器フィールドエンジニアリング部第1グループ 主席技師

斎藤 公美雄 三菱電機(株) 名古屋製作所 開発部

鈴木 健司 三菱電機(株) 先端技術総合研究所 ソリューション技術部 専任

富永 保隆 富士電機機器制御(株) インバータ開発生産センター設計部 担当課長

藤原 昇 (株)安川電機 開発研究所コントローラ技術開発グループ  
MCシステム開発チーム チームリーダー

前原 弘之 東芝機械(株) 制御システム事業部制御システム技術部  
ハードウェア開発担当 グループマネージャー

水上 博文 (株)安川電機 技術開発本部開発研究所  
コントローラ技術開発グループ 技術担当課長

水谷 征爾 オムロン(株) インダストリアルオートメーションビジネスカンパニー  
技術統括センタ インテグレーション戦略・推進センタ 開発部 主査

本杉 匡史 オムロン(株) インダストリアルオートメーションビジネスカンパニー  
技術統括センタ インテグレーション戦略・推進センタ 開発部 主事

森 康浩 オムロン(株) インダストリアルオートメーションビジネスカンパニー  
コントロール機器統轄事業部 モーションコントロール事業推進部 開発G 主査

飛田 幹 THK(株) MRCセンター 制御開発グループ 係長

##### ● 事務局

豊吉 隆憲 (財)製造科学技術センター FAオープン推進室 主席研究員

岡宗 秀一 (財)製造科学技術センター FAオープン推進室 課長

(2) IEEE 1394対応デバイス制御実証評価WG

● 主査

水谷 征爾 オムロン インダストリアルオートメーションビジネスカンパニー

● 委員

相田 忠勝 富士電機機器制御

牛尾 裕介 三菱電機

斎藤 公美雄 三菱電機

鈴木 健司 三菱電機

富永 保隆 富士電機機器制御

藤原 昇 安川電機

水上 博文 安川電機

本杉 匡史 オムロン インダストリアルオートメーションビジネスカンパニー

森 康浩 オムロン インダストリアルオートメーションビジネスカンパニー

飛田 幹 THK

(3) 高速ネットワーク応用技術調査WG

● 主査

前原 弘之 東芝機械

● 委員

上野 高廣 川崎重工業

太田 俊 三菱電機

藤原 昇 安川電機

岩城 純一郎 THK(株) MRCセンター 制御開発グループ

1.2 委員会活動

期間 2003年10月10日～2006年3月15日

回数 デバイス制御用高速ネットワーク専門委員会： 2回

IEEE 1394対応デバイス制御実証評価WG： 24回

高速ネットワーク応用技術調査WG： 14回

## 2. 概要

### 2.1 委員会活動の背景

これまで FA オープン推進協議会の「オープンコントローラ専門委員会」にて、FA コントローラにおいて情動的に最も下位に位置づけられるセンサ情報とサーボ情報をオープン化するために、具体的な方法およびそれを実証するためのシステム開発を4年間（1996年8月～2000年3月）にわたって行った。さらにそれに引き続き、「IEEE1394 応用デバイス制御専門委員会」にて IEEE1394 規格を CNC や PLC への適用に向けて2年間（2000年8月～2003年4月）の活動を行い、制御に必要なデータ項目やパケットデータフォーマット案を提案し、その基本機能を検証するためにセンサネットワークについては実証システムの開発を行った。

その結果、IEEE1394 規格のネットワークは高速性、大容量性の点においてセンサ信号ならびにサーボ情報を転送・利用する上で十分な機能をもつことが確かめられた。しかし実用化するためには、電磁ノイズなどの工場内の環境に耐えて信頼性のある情報転送が約束されなければならないことや、様々な利用形態に対応できる柔軟な機能等が求められる。これらの点に関しては、まだ十分な検討が行われておらず、さらに踏み込んだ検討と実用化に向けたデータフォーマットの改良やデバイスの具体的仕様の提案が必要となった。

一方、オムロン(株)、三菱電機(株)、(株)安川電機の3社で開発が進められていた IEEE1394 規格をベースにしたデジタルサーボ・プロトコル（以下、DS プロトコル）とリンク層 LSI の FAOP への公開が提案された。

また実装仕様面においても、耐ノイズ、長距離に対応した IEEE1394b 仕様のデバイスの開発がアナウンスされていたこともあり、次世代 F A 用高速シリアルバスの実現する環境が整いつつあると判断し本委員会を設立したものである。

### 2.2 活動内容

本委員会では、「IEEE1394 対応デバイス制御実証評価 WG」と「高速ネットワーク応用技術調査 WG」の2つの WG を設け調査研究活動を行った。

#### (1) IEEE1394 対応デバイス制御実証評価 WG

オムロン(株)、三菱電機(株)、(株)安川電機の3社で開発した DS プロトコルおよびリンク層 LSI をベースにオープン性・透明性の高い次世代 F A 用高速シリアルバスの標準化を目的として活動した。

- DS プロトコルの改訂と拡張仕様の作成
- 上記に基づき、相互接続テスト実施による実現性の検証と実装仕様作成

#### (2) 高速ネットワーク応用技術調査 WG

IEEE1394 を含む高速ネットワーク全般について技術調査を行い、将来のデバイス制御への応用提案を行うことを目的とし活動した。

- 高速ネットワーク全般の技術動向調査研究を行い、大容量、リアルタイム性、マルチメディア等も視野に入れた次世代のデバイス制御を実現するネットワークの可能性について技術的検討
- 高速・大容量ネットワークを利用したデバイス制御技術によって期待される効果を調査、検討し、その利点を生かした次世代 FA 応用システムや利用技術についての提示

### 3. IEEE1394 対応デバイス制御実証評価 WG

#### 3.1 活動の概要

##### 3.1.1 背景と経緯

IEEE1394 は、バックプレーンバス、パソコン等の高速ペリフェラルインターフェースを初めとして、高速伝送ネットワークへの応用も視野に入れた幅広い仕様を規定している。規格化した 1995 年当初から、IEEE1394 の上位プロトコルである AV/C プロトコルや S B P 2 プロトコルが開発され、ビデオカムコーダやストレージ機器のインターフェースとして普及していった。また、産業用途では、産業用カメラや装置コントロール(GPIB)のインターフェースとして I I D C や I I C P といった上位プロトコルも開発された。

技術的な特徴に目を移すと、高速・大容量に加えて帯域を保証したアイソクロナス転送を仕様化したことにより、リアルタイム性を要求する産業用途向けネットワーク、とりわけ厳しい性能要求があるサーボネットワークでの実用化が期待された。

1999 年には、三菱電機(株)、日本電気(株)、(株)安川電機の 3 社がサーボネットワークへの適用検討を開始し、その後、オムロン(株)を加えて IEEE1394 ベースのデジタルサーボ仕様に関する本格的な策定が始まった。2003 年には「1394 based Digital Servo Specification Draft 1.0」策定を完了している。更には、ドラフト仕様の改良とオープン性・透明性の高い次世代 F A 用高速シリアルバスの標準化を目的とし、本WGに活動の場を移した。

今日では、IEEE1394b-2002 の対応 PHY チップが量産化され、車載ネットワーク仕様である IDB1394 の策定も進むなど、産業用途への応用に現実感が増してきている。

##### 3.1.2 活動目的

本 WG の活動目的は、「次世代産業用途高速シリアルバスの実証を行い、標準化に向けたプロトコルと実装仕様を提案する」ことである。

##### 3.1.3 IEEE1394 規格の概要

IEEE1394 は、1995 年に最初の規格化がなされ、2000 年にはサプリメントとして IEEE1394a-2000 が策定された。この通称「. a (ドット a)」と呼ばれる規格の応用製品は、既にホームビデオやパソコンに広く普及している。その後、長距離伝送と更なる高速化を目指した IEEE1394b-2002 が策定されたことで、本格的に産業用途への応用の機運が高まっている。

IEEE1394 規格の主な特徴は、高速性、リアルタイム性、柔軟な配線システム、長距離伝送などがある。それぞれの概要を列挙する。

- IEEE1394a-2000、IEEE1394b-2002 の 2 つがある
- 高速性
  - ・ 1 0 0 ～ 8 0 0 Mbps (規格上は 1.6G、将来的には 3.2G)

- リアルタイム性
  - ・ 125  $\mu$  sec 通信サイクルの Isochronous 転送
- 柔軟な配線システム
  - ・ バス配線、ツリー配線
  - ・ 63 ノード/バスあたり
- 長距離伝送
  - ・ リピータ
  - ・ カテゴリ 5 ケーブルで局間 100 m(1394b)
  - ・ POF で 50 m(1394b)

次に、IEEE1394 の基本的な転送方法に触れる。図 3-1 に IEEE1394 の基本的な転送例を示す。通信サイクルは、一斉同報される CycleStart パケットを先頭に、125  $\mu$  sec の定時的に繰り返し実行される。通信サイクルは、Isochronous 転送を使ったリアルタイム転送の時間帯と Asynchronous 転送もしくは Asynchronous Stream 転送を使った非リアルタイム転送の時間帯から成る。ここで、Isochronous 転送は毎サイクル送受信することができるため、送達時間の保証（リアルタイム性）が可能となる。

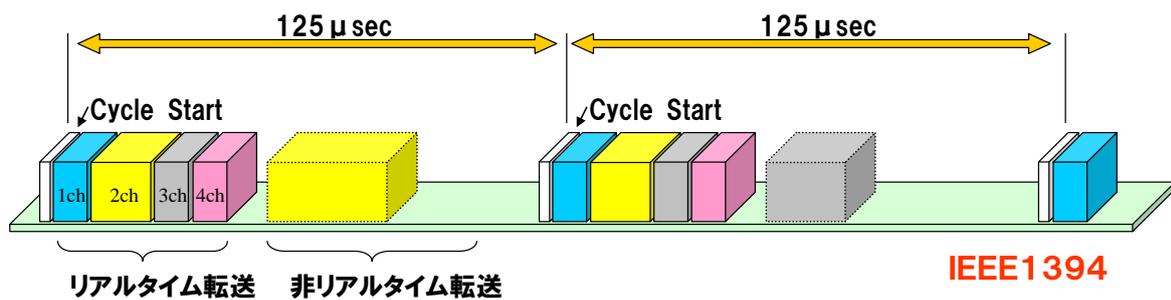


図 3-1 IEEE1394 の転送例

### 3.2 デジタルサーボネットワークプロトコルの標準化に向けての活動

「3.1.1 背景と経緯」で述べた「1394 based Digital Servo Specification Draft 1.0」をベースに仕様拡張を行い、「1394 based Digital Servo Specification Draft 1.1」を策定すると共に、スレーブ間（例えばサーボ間）通信機能を追加した「1394 based Digital Servo Specification Draft 1.2」を策定した。更に、これらのドラフトの実用性を検証する目的で相互接続試験を実施し、実装仕様を検討する取り組みも行った。

#### 3.2.1 デジタルサーボネットワークプロトコル

##### (1) 1394 based Digital Servo Specification Draft 1.1

本 WG では上記 1394 based Digital Servo Specification Draft 1.0 を元に、表 3-1 に示す項

目について仕様の追加・修正を実施した上、各社試作機による実証評価結果も反映して Draft1.1 を策定した。

表 3-1 Draft1.1における主な追加・変更項目

No.	項目	内容
1	デジタルサーボ (DS) 仕様準拠デバイスの識別方法の規定	CSRの Model textual Descriptor Leaf 先頭に固有文字列：“DS_SPEC:”を置くことにより、他の IEEE1394 デバイスと DS 仕様デバイスとを区別可能とした。
2	機器種別の追加	機器種別レジスタを新規追加し、DS 仕様デバイスの機器種別 (コントローラ、ドライブ、IO・ジェネリックデバイス) を識別可能とした。
3	I/O 機器通信のサポート	入力パケット (I-DSP)、出力パケット (O-DSP) のフォーマットを規定し、I/O 機器をサーボドライブと混在接続可能とした。
4	原点サーチシーケンスのサポート	位置ラッチコマンドビット、ラッチ位置有効ステータスビットを新規追加、またラッチ位置をユーザ定義して通知可能とした。更に、それらを使用した原点サーチシーケンス例を追加記述した。
5	通信ウォッチドッグチェック方法の見直し	従来定義されていた緩やかなウォッチドッグ監視を止め、従来用法が曖昧だったパケット・シーケンスナンバ (Seq_No) によるパケット抜け監視方法を再定義した。
6	パケット長調査レジスタの追加	デジタルサーボパケット (DSP) データ長調査レジスタを新規追加し、コントローラが、各スレーブに送信するコマンドパケット長を把握可能とした。
7	複数軸サポート機器への対応見直し	パケットの設定に関するレジスタ群を、ノードディレクトリから軸ディレクトリに移し、1ノードで複数の軸をサポートするデバイス (多軸まとめサーボ、ゲートウェー機器等) の設定が柔軟にできるようにした。
8	複数 ISO サイクル通信方法の見直し	通信周期が複数 ISO サイクル (250 $\mu$ s 以上) となるケースでの通信タイミングについて解説を追記し、軸間での同期を確保する実装方法を記載した。

## (2) 1394 based Digital Servo Specification Draft 1.2

Draft 1.2 ではスレーブが送信する S-DSP を他のスレーブが受信することで、スレーブ間で行うスレーブ間通信について規定した。(図 3-2)

マルチチャネル方式におけるスレーブ間通信のパケット転送例を図 3-3 に示す。チャンネル 3、軸 1 の S-DSP をマスタだけでなくチャンネル 4、軸 2 が受信することによって、スレーブ間通信を実現する。スレーブ間通信用のデータは通常マスターに送信する S-DSP の DSP データエリア設定レジスタによって指定したデータエリアに設定する。受信スレーブはスレーブ DSP データエリア設定レジスタによって指定した S-DSP のデータエリアのデータを読み取る。

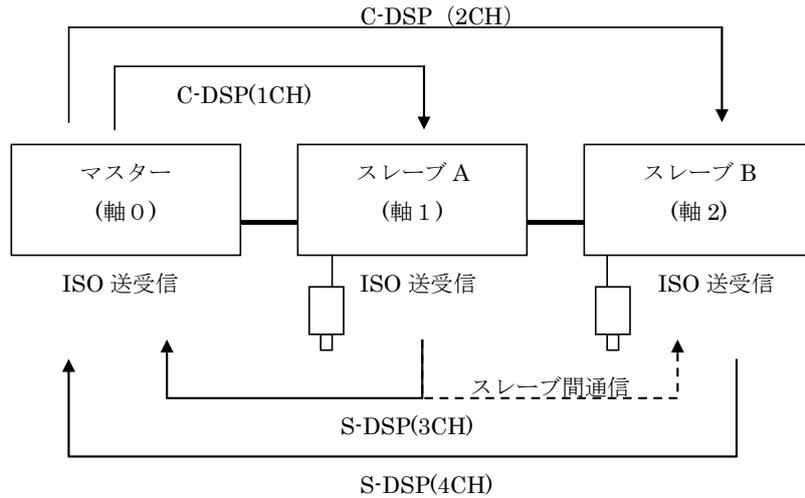


図 3-2 スレーブ間通信例

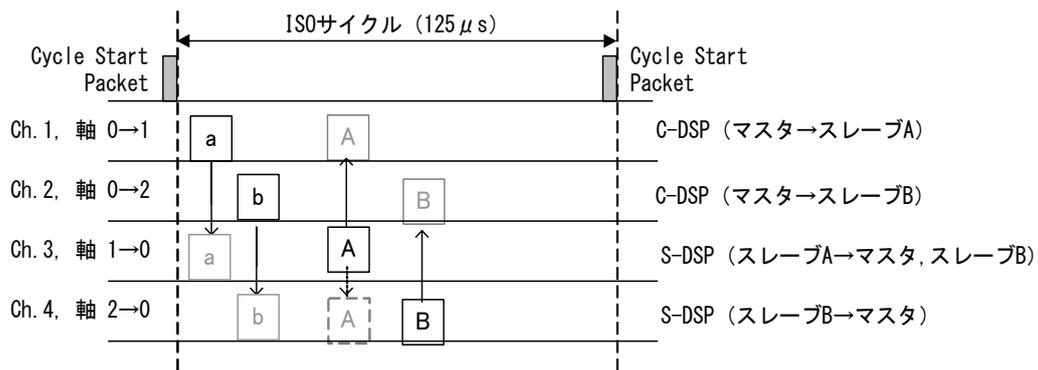


図 3-3 スレーブ間通信のパケットの転送例

### 3.2.2 デジタルサーボネットワークプロトコル実装仕様の概要

1394 based Digital Servo Specification は IEEE1394 を応用したデジタルサーボ・プロトコルであり、デジタルサーボネットワークプロトコル実装仕様については、実装依存とする。

### 3.2.3 仕様の公開について

デバイス制御用高速ネットワーク専門委員会として、デジタルサーボネットワークプロトコルの規定を示した「1394 based Digital Servo Specification Ver.1.0」を公開する。この技術資料は、デジタルサーボネットワークプロトコルの基本仕様の草案である「1394 based Digital Servo Specification Draft 1.1」に、スレーブ間通信機能を追加した「1394 based Digital Servo Specification Draft 1.2」をベースとしており、本WGで開発した全てのプロトコルを包含した内

容となっている。

仕様公開は、「FAOPの公開資料ホームページ」(<http://www.mstc.or.jp/faop/doc/spec.html>)にて広く一般に対して行う。

また、「1394 based Digital Servo Specification Ver.1.0」をサーボやコントローラに実装する上で必要な実装方法を記述した技術資料「1394 based Digital Servo implementation-specific detail Ver.1.0」については、上記公開資料の参考資料として添付した。

### 3.3 IEEE1394による実証

#### 3.3.1 実証の目的

実証の目的を以下に示す。

- DSプロトコル案と実装仕様案を作成、仕様案に基づいた実証システムの開発と相互接続評価を行い、技術的な課題を抽出・検討する。
- アプリケーションを動作させることで、仕様案が実用的であることを確認する。
- 実証結果をもとに、DSプロトコルと実装仕様の最終ドラフトを作成する。

#### 3.3.2 実証システムの概要

##### (1) アプリケーションの概要

相互接続評価は、XYZ軸の直行3軸のTHK社の実験設備に異なるメーカーのサーボを相互接続することにより行う。この設備は、Z軸に付属したペンにより任意の図形をプロットすることが出来る。この設備を2セット用い、同社のソフトウェアツールで作成する加減速を含んだ軌跡データをプロットする。(図 3-4)

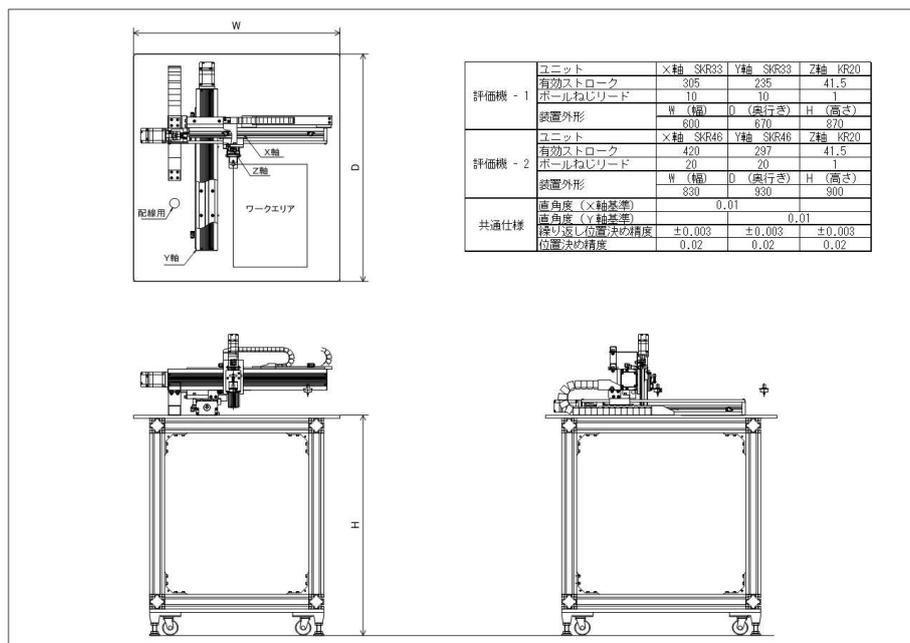


図 3-4 アプリケーションの概要図

## (2) システム構成

アプリケーションの軸数の関係上、2つのシステムを稼働させて2社のコントローラと3社のサーボによる相互接続を行う。1つのシステムはTHK社のコントローラと三菱電機社のサーボ、安川電機社のIOユニットから富士電機社のサーボとOTセンサ及びORGセンサがDSプロトコルにより接続され、もう1つのシステムはオムロン社のコントローラと安川電機社のサーボ、安川電機社のIOユニットから富士電機社のサーボとOTセンサ及びORGセンサで同様のアプリケーションを構成する。(図 3-5)

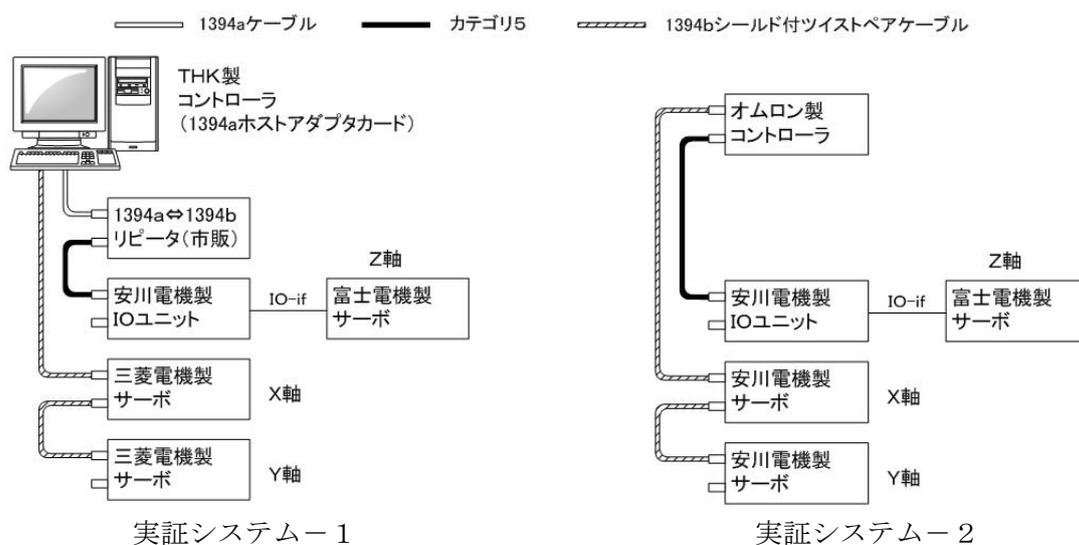


図 3-5 実証システム

また、それぞれのメーカーのサーボのDSプロトコルによる接続の互換性を検証するため、実証システム-1のX軸を三菱電機製から安川電機製に交換し動作の確認を行う。

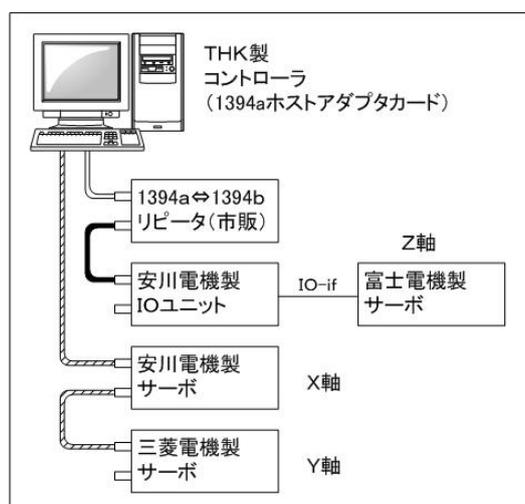


図 3-6 互換性確認のシステム

### 3.3.3 実証の内容

#### (1) 実装仕様の動作検証

##### (a) 原点サーチ

本実証システムを使用し、実際に DS プロトコル適用システムにて、起動時の機械原点サーチシーケンスが実現できることを検証した。実証シーケンスの詳細は「(2) ハーフチャネル転送方式の動作検証」に記載してあるが、ハーフチャネル転送方式の動作検証に先立つシステム初期化シーケンス動作として、検証プログラムに組み込まれ、X 軸、Y 軸それぞれに実施された。

各軸における原点サーチ処理の原理は「図 3-7、図 3-8」に示す通りである。

- コントローラは、可動子をあらかじめ決められた方向に動かしながら、I/O モジュールから取り込んでいる原点センサの入力をチェックする。
- 原点センサ検出したら、モータを減速停止させる。
- サーボドライブに位置ラッチビット：1（開始）の C-DSP を送信する。
- S-DSP のラッチ位置有効ビット：1（有効）となるまで、微小送りにて可動子を動かす。
- S-DSP のラッチ位置有効ビット：1（有効）となった時点でモータを停止させ、ラッチ位置を读出してこれを基準に原点を決定する。
- 位置ラッチビット：0（停止）の C-DSP を送信する。
- 可動子を取得したサーボ原点位置に移動させる。

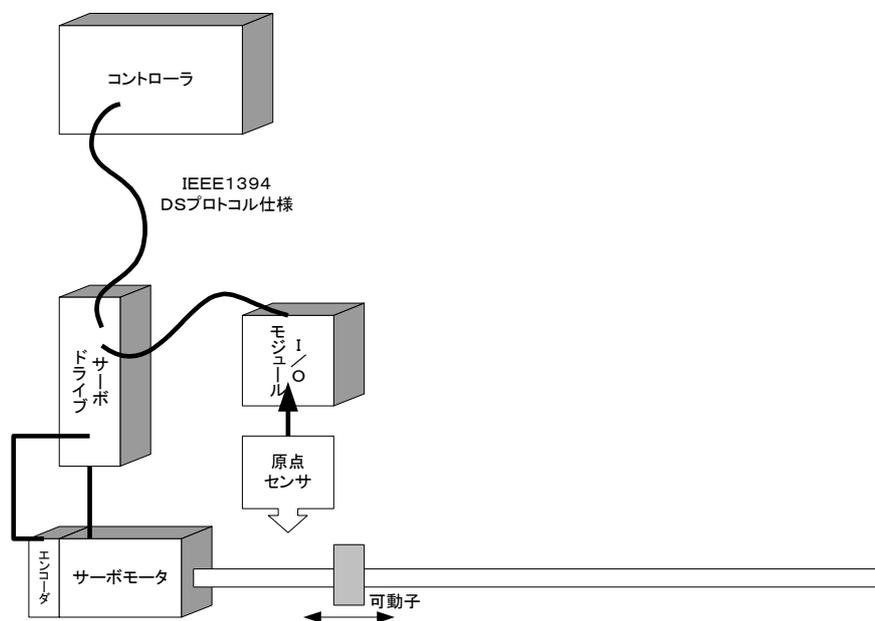


図 3-7 原点サーチ検証の原理図

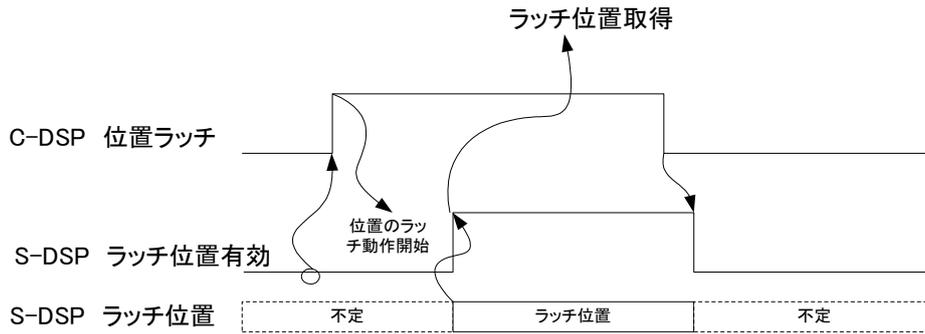


図 3-8 位置ラッチ動作タイミング

(b) 立ち上げ処理

マスタとスレーブの電源投入からアイソクロナスパケット送受信開始までのシーケンスを以下に示す。(図 3-9)

● マスタのシーケンス

[電源投入時]

(特になし)

[1394 バス構成処理]

1394 の仕様に基づいたバス構成処理で、Bus Reset を発生させ、Self ID パケットの送信、全ノードのノードスキャン、サイクルマスタ、アイソクロナスリソースマネージャの確定などを行う。

(1) CycleStart パケットを受信するのを待つ。

[DS ノード調査処理]

全ノードのデジタルサーボディレクトリを読み出し、DS 仕様実装ノードの抽出、DS 仕様実装ノードの機能、性能の調査を行う。

(2) コンフィグレーション ROM を読み出す。

(3) DS\_Base\_Directory\_Offset からデジタルサーボ・ベースディレクトリを読み出す。

(4) NODE\_DIR\_OFFSET からデジタルサーボ・ノードディレクトリのノード調査レジスタを読み出す。

(5) AXIS\_TABLE\_OFFSET からデジタルサーボ・軸ディレクトリ・テーブルディレクトリを読み出す。

(6) AXIS\_DIR\_\*\_OFFSET からデジタルサーボ・軸ディレクトリの軸調査レジスタを読み出す。

[軸通信設定処理]

DS仕様実装ノード上の軸通信設定として、制御モード、伝送速度などを設定する。また、必要なISOリソース(CH、帯域)の確保を行う。

- (7) デジタルサーボ・ノードディレクトリのノード・コントロール/ステータス・レジスタを書き込む。
- (8) デジタルサーボ・軸ディレクトリの軸コントロール/ステータス・レジスタを書き込む。

[サーボ制御起動]

マスタからの指令値送信とスレーブからのフィードバック値受信を開始する。

- (9) C-DSP/O-DSP を送信する。
- (10) S-DSP/I-DSP を受信する。

- スレーブのシーケンス

[電源投入時]

(特になし)

[1394 バス構成処理]

- (1) 必要ならデジタルサーボディレクトリの各データを設定する。

[DS ノード調査処理]

- (2) マスタからのアシンクロナスパケット (読み出し) に対して、レスポンスを返す。

[軸通信設定処理]

- (3) マスタからのアシンクロナスパケット (書き込み) に対して、処理を行い、レスポンスを返す。

[サーボ制御起動]

- (4) C-DSP/O-DSP を受信する。
- (5) S-DSP/I-DSP を送信する。

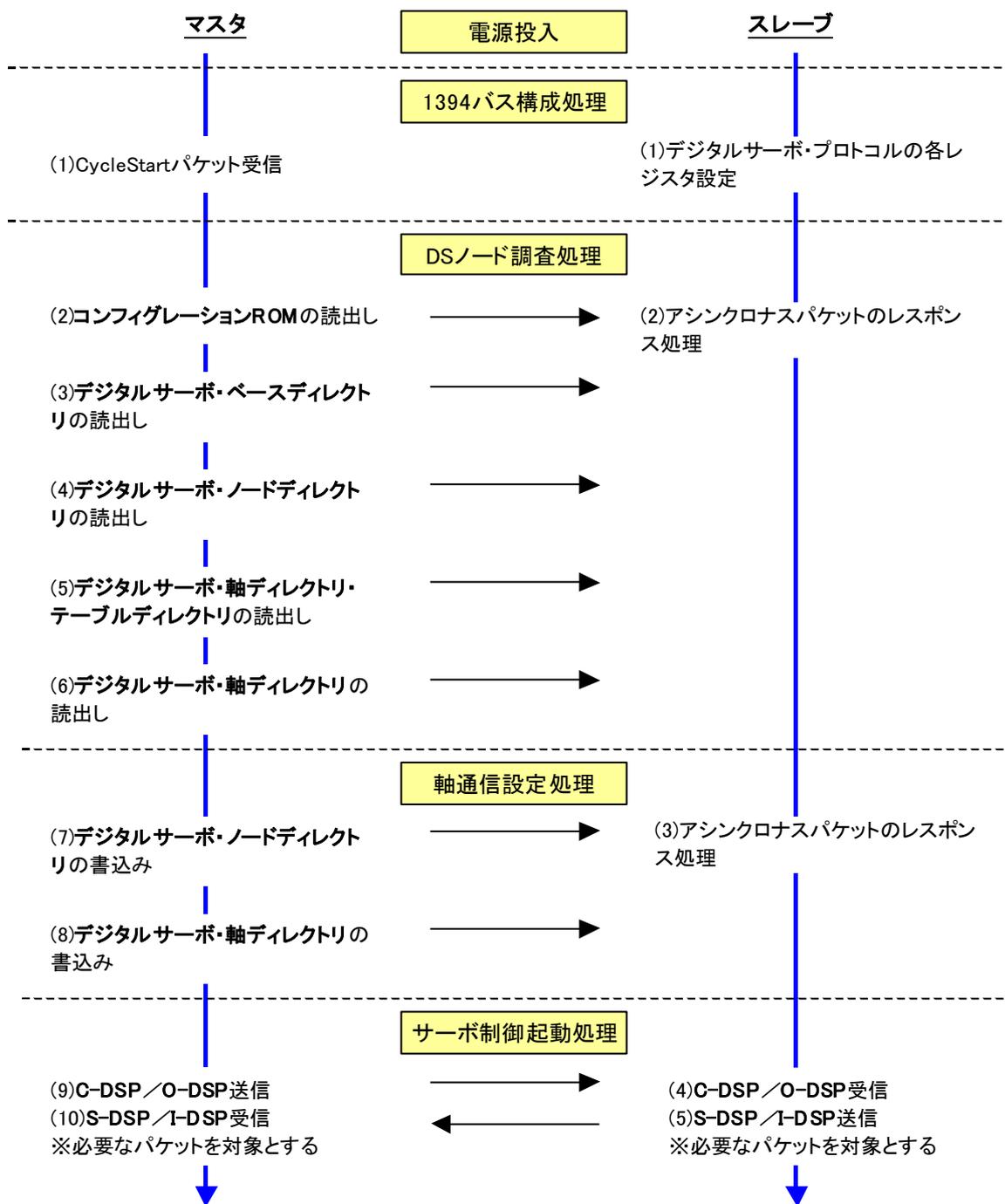


図 3-9 サーボ制御起動手順

(2) ハーフチャネル転送方式の動作検証

THK 製コントローラでは 1394a ホストアダプタカードを使用しており、ISO 通信にあたってはパケットサイズを指定してデバイスドライバに通信を行わせている。パケットサイズはメーカーの実装依存となっているため、メーカーと機種（サーボ、I Oユニット）を識別する必要がある。IEEE1394 規格の Root directory にエントリされている Module\_Vendor\_ID と DS プロトコル

に規定されているデジタルサーボ・ノードディレクトリのノード調査レジスタにエントリされている機器種別調査レジスタによりメーカーと機種を識別した。

ハーフチャネル方式は、『1394 based Digital Servo Specification』の Appendix A.1.2 に記載されているように、各ノードに送信用 ISO チャネルを 1 つ割り付け、コントローラ、X 軸サーボ、Y 軸サーボ、IO ユニット-Z 軸サーボ、OT、ORG センサの各デバイスに割り当てた。(表 3-2)

表 3-2 動作検証での ISO チャネル割り当て

ノード	送信用 ISO チャネル番号	割り当てたデバイス
マスタ	0	コントローラ
スレーブ A	1	X 軸サーボ
スレーブ B	2	Y 軸サーボ
スレーブ C	3	IO ユニット・ Z 軸サーボ、OT、ORG センサ

アプリケーションに付属するペンによりプロットする Mr.C Motion Designer のデータは、標準で 1 m s ごとの位置データとして生成されている。また、今回の動作検証では、DSP 通信周期は周期選択で行う前提である。したがって、各ノードに、DS プロトコルに規定されているノード調査レジスタの DSP 周期選択肢調査レジスタで 1000  $\mu$  s のエントリがされているレジスタ番号を DSP 通信周期時間設定レジスタに設定した。このときのハーフチャネル転送での ISO パケット送信モデルが次のようになる。(図 3-10)

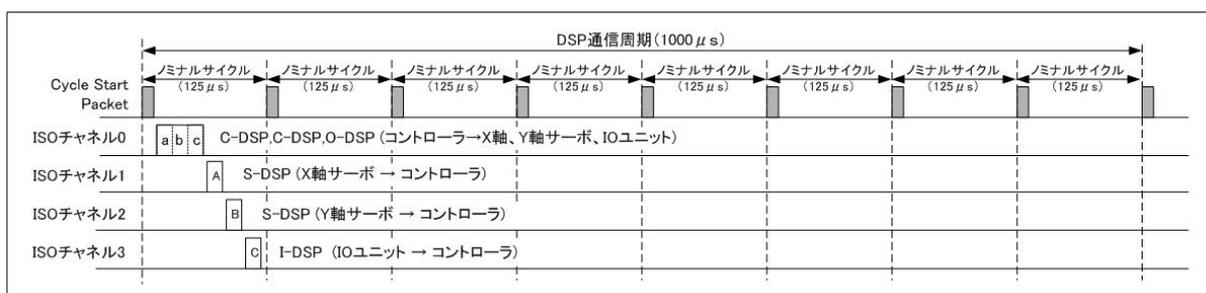


図 3-10 動作検証でのパケット送信モデル図

X 軸サーボ、Y 軸サーボに対して、C-DSP により 1000  $\mu$  s ごとに位置指令を行い、S-DSP によりサーボの状態を監視し DS プロトコルの動作検証を行った。

一方、IO ユニットに IO インターフェースで接続されている Z 軸サーボには、あらかじめペンの上昇位置/下降位置をプログラミングしておき、描画データに埋め込まれているプロット開始/終了のタイミングで O-DSP により DO による動作指令を行い、I-DSP により DI による動作完了、アラームを監視するようにした。また、I-DSP により DI に割り付けられた OT センサ、

ORG センサの監視を行った。

制御開始時にサーボモータの位置と指令位置が一致している必要がある。異なっている状態でサーボオンを行うと、サーボモータは動作できない指令としてアラームになるか、意図しない急激な動作をする可能性がある。(図 3-11)

したがって、ISO 通信開始のために各ノードのデジタルサーボ・ノードディレクトリにある ISO 送受信設定レジスタを ISO 受信開始、ISO 送信開始に設定したのち、チャンネル1 とチャンネル2 の S-DSP の受信を行い、それぞれのフィードバック位置を取得する。取得した位置を最初の位置指令として C-DSP に設定し ISO 送信の開始を行った。

それと同時に IO ユニットでは、IO インターフェースの DO に割り当てられている制御機器の初期値に合わせ O-DSP の値を設定し ISO 送信の開始を行った。

ハーフチャンネル転送方式による ISO 通信の送信/受信が正常に開始した後に、X 軸サーボ、Y 軸サーボに対して C-DSP コマンドビットのサーボオンビットによりサーボオンを行った。

一方、IO ユニットの IO インターフェースに接続された Z 軸サーボは、割り当てられた DO ビットにより O-DSP を設定しサーボオンを行った。

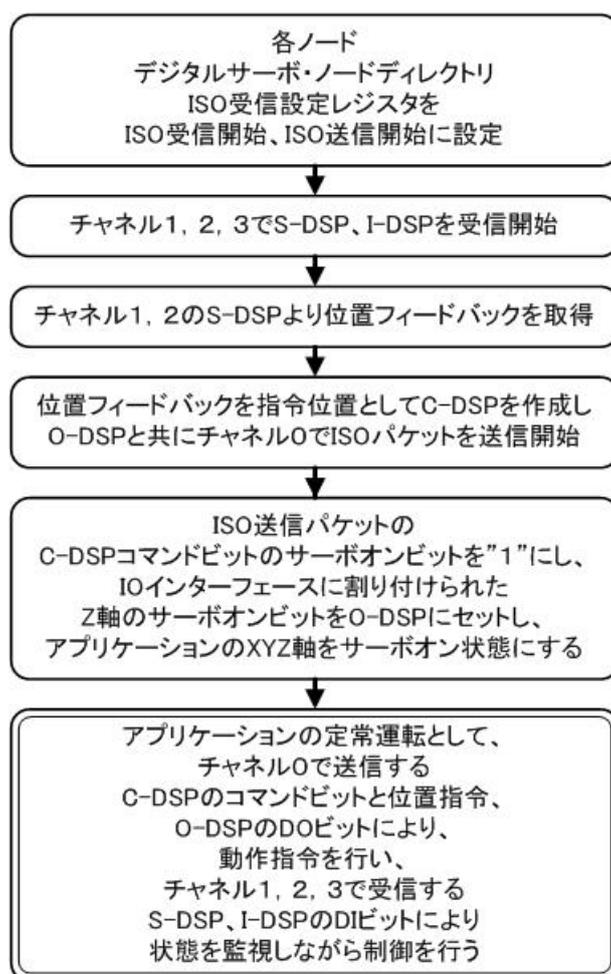


図 3-11 アプリケーションの制御手順

これらの手順によりアプリケーションの制御を開始し、C-DSP のコマンドビットと位置指令、及び、IO インターフェースに割り付けられた DO ビット対応する O-DSP のビットにより、原点復帰 (OT、ORG センサの走査、ラッチ動作)、JOG 動作、PTP 動作、ペンによるプロット動作を行った。

原点サーチは、安全性を考慮して Z 軸の原点復帰が完了した後、X-Y 軸の原点復帰を行った。

Z 軸の原点復帰は、O-DSP により IO ユニットの DO に割り当てられた信号でサーボモータが持っている原点復帰機能を開始させ、I-DSP により DI に割り当てられた完了信号を監視することにより終了を待った。

X-Y 軸の原点復帰は、カム曲線の変形正弦曲線で、DSP 通信周期である 1ms ごとの位置指令を計算し所定の速度まで加速し、I-DSP により DI に割り当てられた OT センサ、ORG センサを検出したら減速停止する動作を基本にした。OT センサを検出したときには停止した後に反転動作をさせ、ORG センサを検出したのちには停止させる。X-Y 軸で共に ORG センサを検出し停止した後、ラッチ機能と微小送りをを使いサーボモータの原点を検出し原点復帰を完了した。

JOG 動作は原点復帰の基本動作と同様に、カム曲線の変形正弦曲線で所定の速度まで加速-減速を行い動作させた。

PTP 動作は、任意に選択されたカム曲線、最高速度、目標位置により加速-減速を行い動作させた。

ペンによるプロットには、アプリケーションのデバイス構成に合わせ、X 軸、Y 軸には位置データを、Z 軸には指令コードを設定しペンの上下動作を行った。(図 3-12)

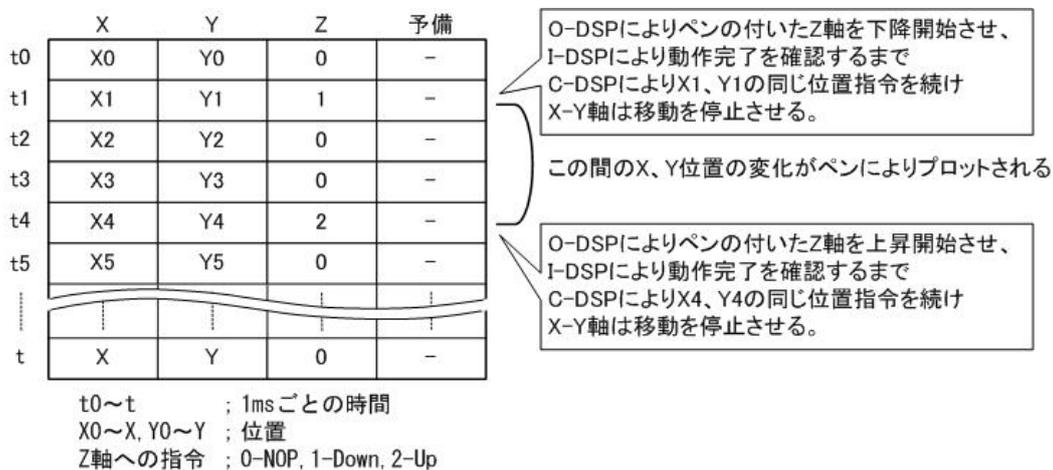


図 3-12 プロットデータ

また、X 軸に安川電機社のサーボモータ、Y 軸に三菱電機社のサーボモータを接続し、同じ制御を行い互換性の確認を行った。図 3-13に示すペンによるプロット結果は、そのときのものである。

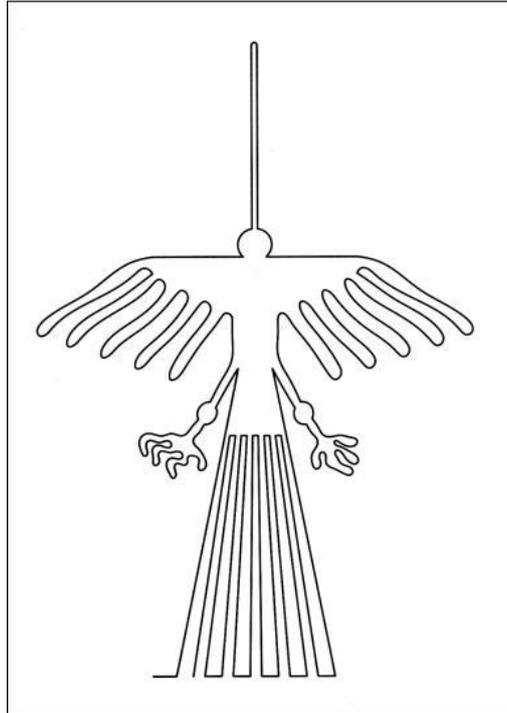


図 3-13 ペンによるプロット結果

(3) 耐環境性評価

(a) IEEE1394.b メタルケーブルのインパルスノイズ評価

サーボアンプと指令コントローラ間を IEEE1394.b メタルケーブルにて通信させた場合のケーブルノイズ試験時のノイズ耐量を測定した。(図 3-14、表 3-3、表 3-4、表 3-5)

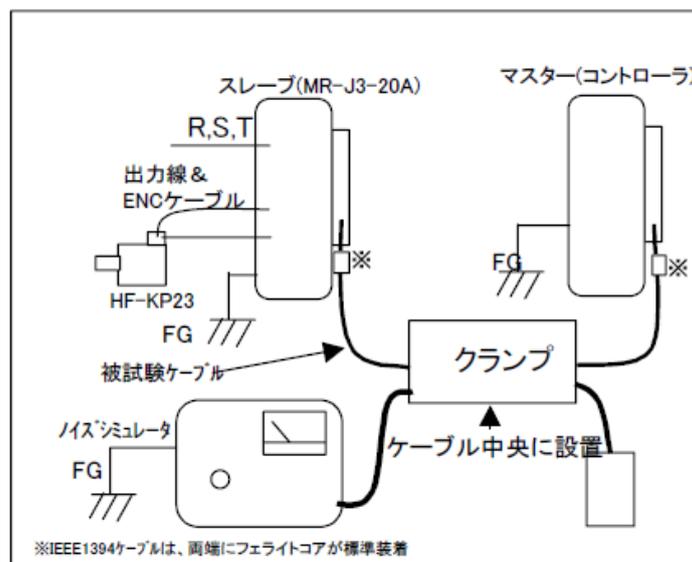


図 3-14 ノイズ試験の構成図

表 3-3 試験機材

試験場所	ノイズ試験機	サーボアンプ	サーボモータ
三菱電機	INS-400L (ノイズ研究所)	MR-J3-20A	HF-KP23

表 3-4 被試験ケーブル

ケーブル種類	長さ	項目
IEEE1394.b メタルケーブル (SANWA SUPPLY 製 KE-B994W)	4.5m	両端フェライトコア付き

表 3-5 ノイズ印加条件

パルス極性	パルス間隔	ノイズ幅
+	16ms	50ns

測定結果・10 分間ノイズ印加し、エラーが発生しなかった最大印加電圧を表 3-6 に示す。

表 3-6 測定結果

ケーブル種類	通信速度	最大印加電圧
IEEE1394 用ケーブル (SANWA SUPPLY 製 KE-B994W)	400Mbps	950V

(b) IEEE1394.b メタルケーブルのファストトランジェントノイズ評価

サーボアンプと指令コントローラ間を IEEE1394.b メタルケーブルにて通信させた場合のファストトランジェントノイズ耐量を測定した。(図 3-15、表 3-7、表 3-8、表 3-9)  
引用規格：IEC61000-4-4、ノイズ耐量目標：レベル 3 (1,000V)

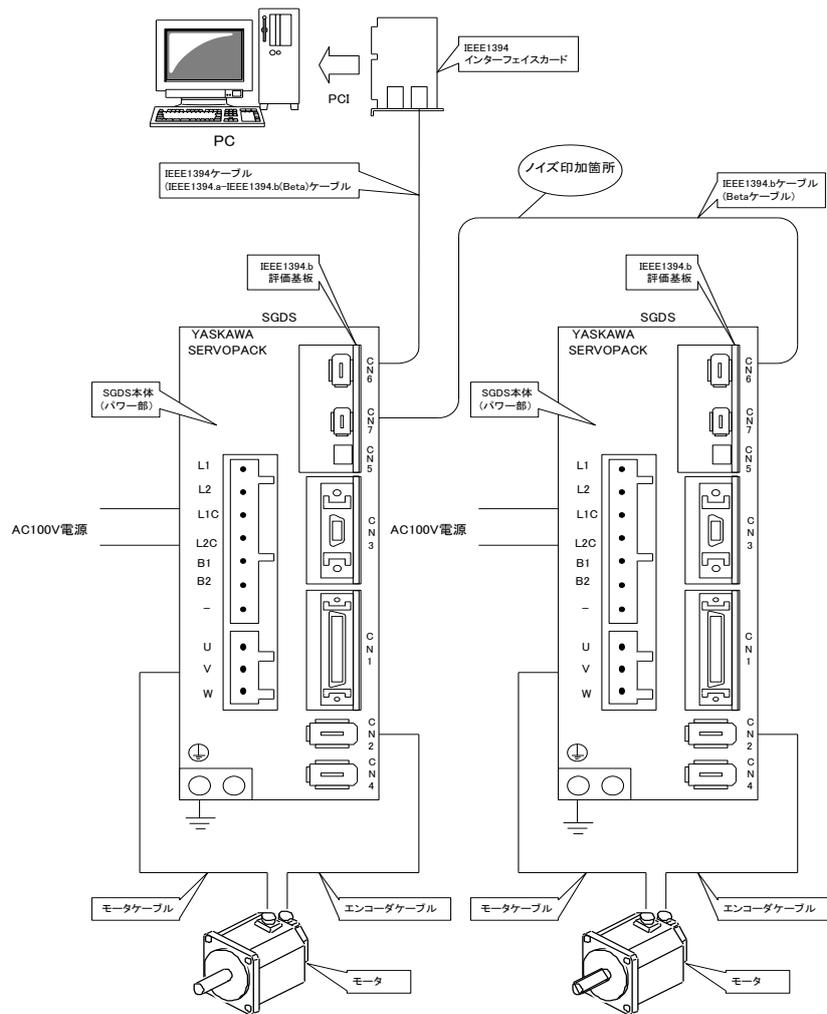


図 3-15 ノイズ試験の構成図

表 3-7 試験機材

試験場所	ノイズ試験機	サーボアンプ	サーボモータ
安川電機	FNS-100L (ノイズ研究所)	評価用試作品 (パワー部は SGDS-A50F1 相当品)	100V50W 適合モータ

表 3-8 被試験ケーブル

ケーブル種類	長さ	項目
IEEE1394.b メタルケーブル (UNIBRAIN 製)	4.5m	サーボ間接続用
IEEE1394.b メタルケーブル (UNIBRAIN 製)	10m	サーボ間接続用
IEEE1394.a(6ピン) -IEEE1394.b(9ピン)メタルケーブル (UNIBRAIN 製)	4.5m	コントローラ-サーボ間 接続用

表 3-9 ノイズ印加条件

パルス極性	パルス周期	ノイズ印加点
+/-	5kHz±20%	サーボ間接続ケーブル上にて、モジュール端から 50cm 離れた位置にカップリングクランプ装着

測定結果:1分間ノイズ印加して、エラーが発生しなかった最大印加電圧を表 3-10 に示す。  
目標とするノイズ耐量 1000V 以上の結果を確認した。

表 3-10 測定結果

ケーブル種類	通信速度	パルス極性	最大印加電圧
IEEE1394.b メタルケーブル 4.5m	400Mbps	+	1000V
	400Mbps	-	1100V
IEEE1394.b メタルケーブル 10m	400Mbps	+	1100V
	400Mbps	-	1100V

(c) IEEE1394.b メタルケーブルのファストトランジェントノイズ評価

マスタコントローラと評価用スレーブコントローラ間を IEEE1394.b メタルケーブルにて通信させた場合のファストトランジェントノイズ耐量を測定した。

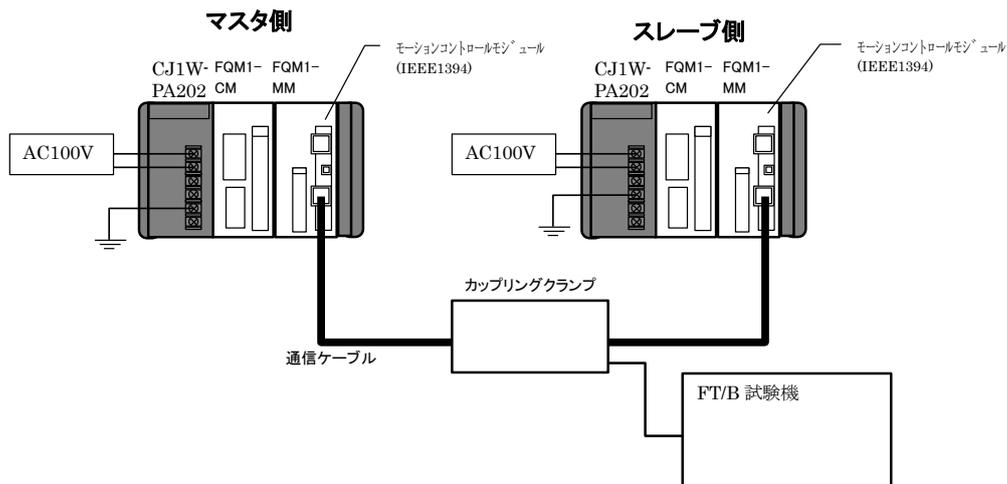


図 3-16 ノイズ試験の構成図

表 3-11 試験機材

試験場所	ノイズ試験機	コントローラ
オムロン	FNS-100AX (ノイズ研究所)	評価用試作品 (制御部は FQM1 シリーズ相当品)

表 3-12 被試験ケーブル

ケーブル種類	長さ	項目
IEEE1394.b メタルケーブル (SANWA SUPPLY 製 KE-B994W)	4.5m	両端フェライトコア付き

表 3-13 ノイズ印加条件

パルス極性	パルス周期	ノイズ印加点
+/-	5kHz±20%	接続ケーブル上にて、マスタコントローラ端から 1m 離れた位置にカップリングクランプ装着

測定結果:2分間ノイズ印加して、エラーが発生しなかった最大印加電圧を表 3-14 に示す。  
フェライトコアを追加することで目標とするノイズ耐量 1,000V 以上の結果を確認した。

表 3-14 測定結果

ケーブル種類	通信速度	パルス極性	最大印加電圧
IEEE1394.b メタルケーブル 4.5 m	400Mbps	+	800V
	400Mbps	-	900V
IEEE1394.b メタルケーブル 10 m + フェライトコア (SEIWA 04SR200935)	400Mbps	+	1100V
	400Mbps	-	1000V

(d) カテゴリ 5 ケーブルのファストトランジェントノイズ評価

マスタコントローラと評価用スレーブコントローラ間をカテゴリ 5 ケーブルにて通信させた場合のファストトランジェントノイズ耐量を測定した。(図 3-17、表 3-15、表 3-16、表 3-17)

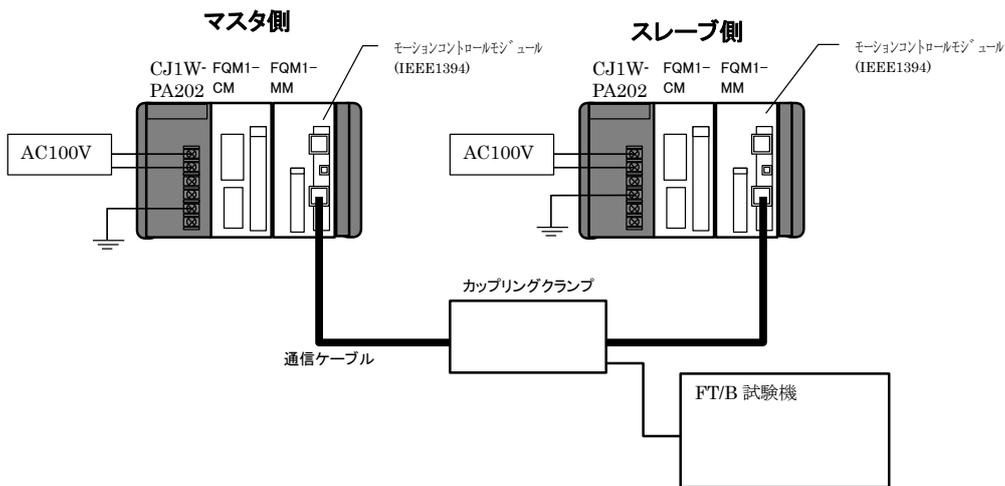


図 3-17 ノイズ試験の構成図

表 3-15 試験機材

試験場所	ノイズ試験機	コントローラ
オムロン	FNS-100AX (ノイズ研究所)	評価用試作品 (制御部は FQM1 シリーズ相当品)

表 3-16 被試験ケーブル

ケーブル種類	長さ	項目
カテゴリ 5 STP ケーブル (ハーティング社製)	10m	コントローラ間接続用

表 3-17 ノイズ印加条件

パルス極性	パルス周期	ノイズ印加点
+/-	5kHz±20%	接続ケーブル上にて、マスタコントローラ端から 1m 離れた位置にカップリングクランプ装着

測定結果:2分間ノイズ印加して、エラーが発生しなかった最大印加電圧を表 3-18 に示す。  
目標とするノイズ耐量 1000V 以上の結果を確認した。

表 3-18 測定結果

ケーブル種類	通信速度	パルス極性	最大印加電圧
カテゴリ 5 STP ケーブル 10m	100Mbps	+	1400V
	100Mbps	-	1400V

### 3.4 まとめ

本 WG では、IEEE1394 規格の特徴であるアイソクロナス転送を応用し、デジタルサーボネットワークプロトコル「1394 based Digital Servo Specification Ver.1.0」を策定した。更に、相互接続システムにより、マルチベンダ環境下での相互接続運用性の評価と耐環境性の評価試験を行った。これらの実証の成果からデジタルサーボネットワークが十分に実用的であることを確認できた。

本 WG で策定した仕様は、「1394 based Digital Servo Specification Ver.1.0」(技術資料)として広く一般に公開した。また、サーボやコントローラに実装する上で必要な実装方法を記述した技術資料「1394 based Digital Servo implementation-specific detail Ver.1.0」については、上記技術資料の参考資料として添付した。

## 4. 高速ネットワーク応用技術調査 WG

### 4.1 概要

調査WGでは、IEEE1394 を含む高速ネットワーク全般について技術調査を行い、将来のデバイス制御への応用提案を行うことを目的として、

- 高速ネットワーク全般の技術動向調査を行い、大容量、リアルタイム性、マルチメディア等も視野に入れた次世代のデバイス制御を実現するネットワークの可能性についての技術検討
- 高速・大容量ネットワークを利用したデバイス制御技術によって期待される効果を調査、検討し、その利点を活かした次世代FA応用システムや利用技術についての提示について活動を行う。

### 4.2 産業用高速ネットワークについて

#### (1) 産業用ネットワークの現状と今後の動向

これまで、わが国の製造業は優秀な生産技術・生産システムにより国際競争力を維持してきたが、国際的な経済環境の変化の中で転換を余儀なくされ、その対応を模索している現状がある。

こうした中、情報技術の急速なオープン化の動きは製造分野へも影響を与えつつある。生産におけるデータ交換・管理・制御などの情報プロセスを新しい環境に適合させるために、製造設備のコントローラ・製造情報なども生産システム全体構造の多くの側面でオープンアーキテクチャに基づく共通基盤の上に確立されようとしている。

生産システムは、製品の生産管理、在庫管理などを行う上位の情報系システムと実際の製品を製造する中・下位の制御系システムで構成され、システムの最適化にはこの情報系システム（企業ネットワーク）と制御系システム（コントロール系ネットワーク）を統合して生産システム全体の情報化を実現させることが不可欠である。上位系と工場現場のコントローラ間で情報のやり取りを行う情報レベルでは、大容量のデータ転送を行うため高速の伝送能力が要求されるが、工場現場でもインテリジェントな機器・装置が増えてきており、オープンなデジタルネットワークによる結合の可能性が出てきた。また、分散設置された制御機器間では、高速伝送とともに一定時間内での確実な応答や診断情報のやりとりも要求されてきている。

一方、FAシステムの中・下位系である制御機器の中でもインバータやサーボといったモーション系機器においては、非常に精度の高い制御が高速にできるということが今後一層強い要求として出てくると予想される。リアルタイム性、すなわち、一定時間での情報の授受、同期性が特にネットワークに要求される。また、産業用途に対しては、工場のような悪環境を考えると、耐ノイズ性、安全性、低コスト、長期供給保証、保守・メンテナンス性なども必要不可欠な要件である。

<p>2. 1 産業用ネットワークの現状と今後の動向</p> <p>a. 企業ネットワーク（情報システム）、コントロール系ネットワーク（制御システム）として</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆基幹ネットワークと接続して画像表示等の大容量信号、制御系信号が統合可能な高速伝送能力 <ul style="list-style-type: none"> <li>・大容量記憶装置との接続が容易になり、制御系機器の診断データや学習データの蓄積に有効</li> </ul> </li> <li>◆ソフトウェアリアルタイム性の範疇で上位系と制御系の工程間でデータ交換が容易な仕組み</li> <li>◆画像機器入力を利用した視覚情報としての異常監視の仕組み</li> <li>◆分散設置された制御機器間で、等時性を利用した計測や同期制御が可能な仕組み</li> </ul>	<p>b. モーション系ネットワークとして</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆等時性、同期性の保証</li> <li>◆耐ノイズ性の保証</li> <li>◆安全性：異常時の応答性の確保と選択 <ul style="list-style-type: none"> <li>・できるだけ止めない、条件で停止、即停止</li> </ul> </li> <li>◆安価であること</li> <li>◆容易なこと <ul style="list-style-type: none"> <li>・標準プロトコルは分かりやすいこと</li> <li>・認証に時間がかからないこと</li> <li>・立ち上げが楽なこと（プラグアンドプレイが理想）</li> </ul> </li> <li>◆長期供給保証であること</li> <li>◆保守、メンテナンス性 <ul style="list-style-type: none"> <li>・機能の上位互換性の確保</li> </ul> </li> </ul>
---	--

図 4-1 は産業用ネットワークの流れを表しているが、現在の生産システムでは、情報レベルである上位ネットワークと制御レベルであるフィールドネットワークとはそれぞれの階層でオープンまたは専用のネットワークを構成している。しかし、将来、機器のインテリジェント化がすすむと省配線のネットワークで結合され、制御は分散化、管理は集中化の方向へと向かうことが予想される。

## フィールドネットワークの階層構造

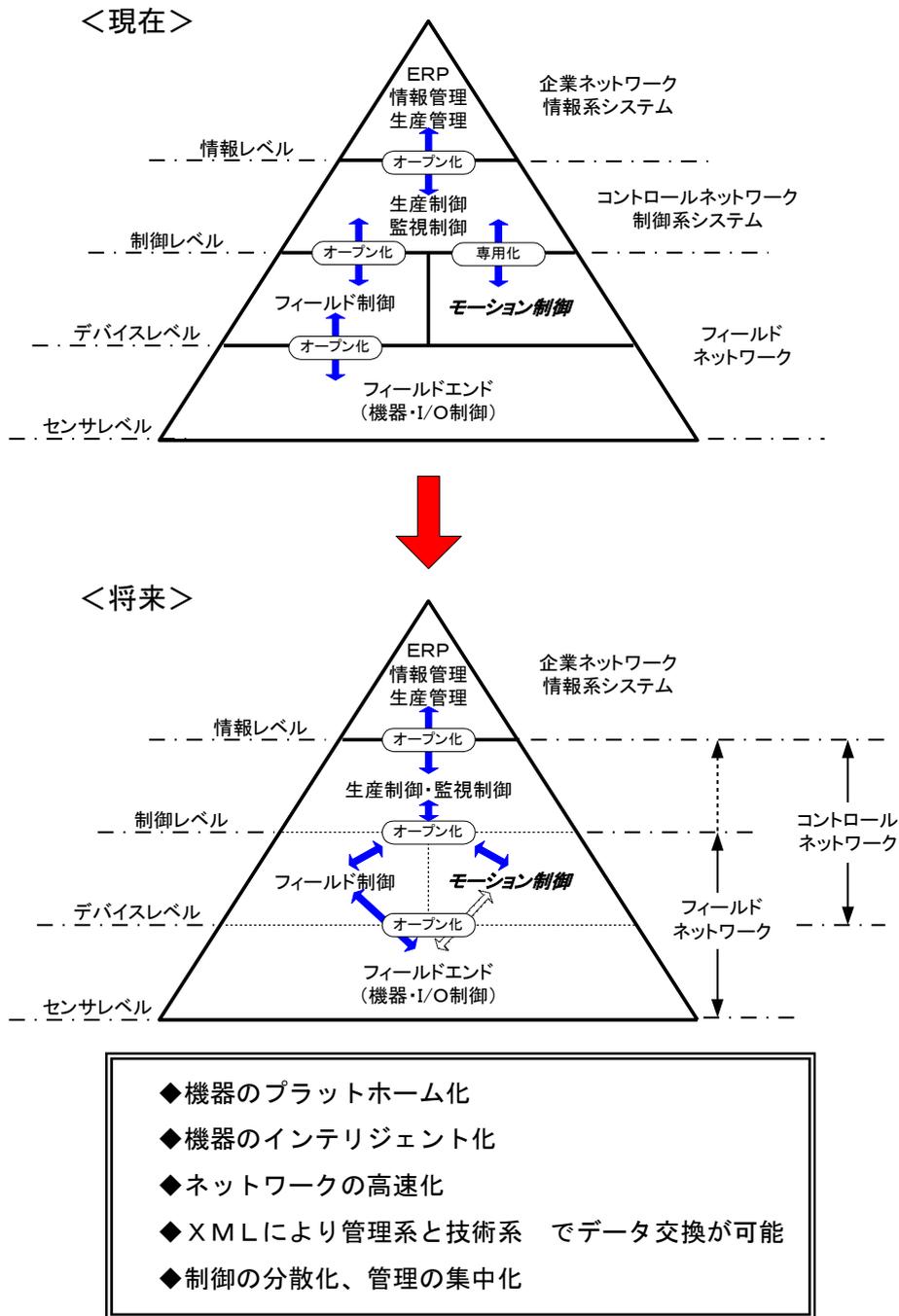


図 4-1 FAネットワークの階層構造の変遷

すでに、XML等により管理系と制御系で技術情報やデータの交換が可能な環境が整いつつあり、情報・生産管理と生産現場の融合は実現可能となっている。当然産業界においても両者間をシームレスに統合し、生産システムの最適化を実現するための高速ネットワークの導入が不可欠になってくる。

c. ネットワークとしての統合の可能性

- ◆XML (eXtensible Markup Language) の利用によって管理系と制御系で技術情報やデータの交換が可能な環境が整ってきた。



情報・生産管理と生産現場の融合が実現可能



高速オープンネットワークが生産設備のネットワークとして広く使われる時代が来ることは間違いない。

- ◆コントロール系ネットワーク（制御系システム）と企業ネットワーク（情報系システム）とは混在して情報のやりとりが可能
- ◆高速、大容量のデータ転送が可能になるので、装置（制御）は分散化、管理は集中化へと進む。

一方、フィールドエンド系システム（センサレベル）については現在でも使用環境に適した種々のネットワークが広く普及しており、コストの面からも情報系ネットワークによってすぐに統合されるまでには至らないと考えるが、統合化の方向性は市場要求の流れであり、急速に進むことも予想される。

d. フィールド系（デバイス系）系、モーション系との統合の可能性

- ◆フィールドエンド系（センサレベル）までを含めた統合は難しい。  
また、過度な統合はコスト、使い勝手からもメリットは無い。
  - それぞれの使用環境に最適なネットワークは既に広く普及。
  - 全ての階層を包含した汎用ネットワークでは特徴が出ない。
- ◆モーション系ネットワークとの統合は、リアルタイム性の制約の範囲で可能
  - 物理的に接続できてもモーション系の制御仕様は千差万別。標準仕様（プロトコル）をどう定義するかが普及の鍵。
  - 差別化のため、特殊仕様追加が容易に可能なこと。
  - 究極性能を追及する場合はベンダー専用と割り切る。

モーション系システムについては、リアルタイム性の制約の中で統合化が普及していくと考えるが、物理的な結合はできてもモーション系の制御仕様は千差万別であるため、標準プロトコルをどう定義するかも普及の鍵と言える。すでにモーション系を取り込んだ産業用高速ネットワー

9	PROFInet	Ethernetを下位層に利用 IRTはASIC(ERTEC200/400)によるハード同期機能	100Mbps	ツリー、 Ethernet/100Mbps	プロファイバ協会
10	Responsive Link	ハードリアルタイムが要求される制御に使用するイベント通信と、ソフトリアルタイムでよいマルチメディアデータ伝送に使用するデータ	800Mbps～ 12.5Mbps	トポロジーフリー Point-to-point	情報処理学会SC25専門委員会のWG4
11	SERCOS	モーション制御向け	2, 4, 8 or 16 Mbps	光ファイバーによる リング	代表的なネットワーク
12	SEACOS(Enterprise Communication System)	Ethernetでリングを構成し、ハードによる同期機能を採用	100Mbps	RING, 100Mの Ethernet	
13	SynqNet	Ethernetを下位層に利用 モーション制御を意識	100+100Mbps	Ethernet/100Mbps	mei社

(2) 現在の技術動向

調査WGでは、現在の技術動向としてモーションコントロール領域でのオープン化への取り組みが活発化していることから、モーション制御をターゲットに産業用高速ネットワークの調査を行った。

特にオープン化の観点から、

- プロファイバス (PROFInet)
- CC-Link
- ODVA (EtherNet/IP)
- FL-net
- MECHATROLINK-II

についてプレゼンをお願いして動向を調査した。いずれのネットワークとも今後は安全性とリアルタイム性がキーワードになっている。制御系のうち特にモーション系との融合のためにはネットワークの高速性+リアルタイム性が必須であり、その取組も進められつつある。また、これ以外の既実用化、または検討が進められてモーション系ネットワークについても独自に調査し、その中からモーション制御に使用可能なネットワークを表 4-1 にまとめた。

モーション制御に要求されるリアルタイム性の観点から高速な通信周期：クラスA、中速の通信周期：クラスB、低速な通信周期：クラスCに分類した。クラスA、Bでは補間動作などの同期制御を実現できるネットワーク（同期通信）をモーション系ネットワークとして位置づけ、また、クラスCではいわゆる位置決めや速度制御などを実現できるネットワーク（非同期通信）をフィールド系ネットワークとして位置づけた。

クラスAは工作機械、射出成形機、梱包機械、印刷機械など軸間の同期（補間動作）が必要なアプリケーションとして、125μsec程度の高速な通信周期が要求される。クラスBは一般のモーションコントロール分野であるが、250μsec（補間動作が必要なアプリケーション）～8msec（やや高速の位置決め、速度制御）の通信周期は必要とされる。クラスCはPLCコントロールによる非同期の位置決め、速度制御であり、数msec以上の通信周期で十分なアプリケーションである。

それぞれ、表に示すようなネットワークが現在実用化されているか、または実用化を目指して標準化、規格化等の準備がなされている。このなかで、特にオープン化を視野に入れてモーション制御への適用を図ろうとしている産業用ネットワークについて、表2.2にまとめた。表からもわかるように、フィールドネットワークのオープン化が強い海外からのモーション系ネットワーク標準化の動きが先行していることがわかる。国内では、MECHATROLINK、Responsiv link、Profinet Ver.3（仕様策定参画）やFAオープン推進協議会でのIEEE1394への取り組み（3.IEEE1394対応デバイス制御実証評価WG）などがあり、デファクトスタンダードを目指している。

なお、これらを含む高速ネットワークや関連規格について調査を行い、付表1、2（本章最後に添付）にまとめた。

表 4-1 モーション制御に使用されるネットワーク例

クラス	通信			機能	想定アプリケーション	モーション系ネットワーク	フィールド系ネットワーク	コントロール系ネットワーク
	速度	周期	方式					
A	高速 ↑ ↓	125 μ sec	同期通信	補間動作	工作機械 (NC) 印刷機械 射出成形機 など	IEEE1394 (FAOP仕様) RROFinet (IRT) Ethernet/IP (CIPsync付) EtherCAT Ethernet-Powerlink SERCOS SERCOS-III MECHATROLINK-II SynqNet Responsive Link		
B		250 μ sec ~8msec			一般モーションコントロール			
C		低速	数msec以上	非同期通信	位置決め (PTP) 速度制御	PLC コントロール		PROFInet(SRT) PROFIBUS-DP DeviceNet CC-Link

表 4-2 モーション制御に利用される主なオープンネットワークの仕様比較

番号	名称		概要	伝送速度	メディア、トポロジー	団体
1	IEEE1394	IEEE1394b	IEEEの委員会でIEEE1394aを改良したもの	100Mbps~800Mbps~3.2Gbps	ツリー	1394 Trade Association
2		IEEE1394(FAOP仕様)	FAOPデバイス制御用高速ネットワーク専門委員会で開発したDSプロトコルによるFA用高速シリアルバス	100Mbps/400Mbps	ツリー	FAオープン推進協議会 デバイス制御用高速ネットワーク専門委員会
3	EtherCAT		Ethernetを下位層に利用リアルタイム性の追加	100Mbps	Ethernet/100Mbps	
4	EtherNet/IP		DeviceNetの上位プロトコルであるCIP(Common Industrial Protocol)をEthernet上に実装	100Mbps	Ethernet/100Mbps	ODVA(Open DeviceNet Vendor Association)
5	Ethernet-Powerlink		Ethernetを下位層に利用リアルタイム性の追加	100Mbps	Ethernet/100Mbps	
6	MECHATROLINK	MECHATROLINK-I	複数のサーボ間の精密な同期制御や高速性に重点を置いたモーション制御用ネットワーク。	4Mbps	バス	MECHATROLINK協会
7		MECHATROLINK-II		10Mbps	バス	
8	Profibus	PROFIdrive	PROFIdrive規格にモーションコントロールに必要な機能を追加	9.6k~12Mbps	ツイストペア線/RS-485, 光ファイバー	プロフィバス協会
9		PROFInet	Ethernetを下位層に利用IRTはASIC(ERTEC200/400)によるハード同期機能	100Mbps	ツリー、Ethernet/100Mbps	
10	Responsive Link		ハードリアルタイムが要求される制御に使用するイベント通信と、ソフトリアルタイムでよいマルチメディアデータ伝送が可能	800Mbps~12.5Mbps	トポロジーフリー Point-to-point	情報処理学会SC25専門委員会のWG4
11	SERCOS(SERial Realtime COmmunication System)	SERCOS	モーション制御向け	2, 4, 8 or 16 Mbit/s	光ファイバーによるリング	IGS
12		SERCOS-III	Ethernetでリングを構成し、ハードによる同期機能を採用	100Mbps	RING、100MのEthernet	
13	SynqNet		Ethernetを下位層に利用モーション制御を意識	100+100Mbps	Ethernet/100Mbps	mei社

## 4.3 デバイス制御への応用提案

### 4.3.1 モーション系ネットワークに要求される機能・性能

FAオープン推進協議会の「デバイス制御用高速ネットワーク専門委員会」では、IEEE1394を産業用ネットワークとして利用する可能性について検討をすすめているが、まず、モーション系ネットワークとして必要とされる機能・性能についてまとめてみると、次のような点があげられる。

#### 3. 1 モーション系に必要とされる機能・性能

- a. 機能、性能
  - ◆高速・大容量のデータ伝送
  - ◆等時性、同期性
    - 軸間同期制御、装置間同期制御、時間の絶対値化
  - ◆周期時間とジッタ（ゆらぎ）
    - 制御処理周期ができるだけ一定であること
  - ◆システム価格が安価なこと
  - ◆耐ノイズ性が高いこと（信頼性が高いこと）
- b. 安全性
  - ◆異常時の応答性（非同期通信による制御では要注意）
  - ◆異常時の処理：できるだけ止めない、条件で停止、即停止
- c. 保守、メンテナンス性
  - ◆産業機器は寿命が長い
    - メーカーを選ばず接続が可能。機能の上位互換性の確保
  - ◆ネットワークのどこかにツールをつなげば、モニタ、設定がオンラインで可能（可能な限りツールを1本化）

具体的にFA制御用としてIEEE1394規格を見てみると、そこに求められる大容量、高速性、安定性などの様々な要求項目を十分満足することがわかる。すなわち、現在ではパソコンでもIEEE1394は当たり前付属するインターフェースとして100Mbpsから800Mbpsまでの通信速度をカバーしており、こうした高速・大容量通信は将来のFA制御用としても十分なスペックを満足していると考えられる。また、FA制御用としては当然ものづくりが対象になるため、高精度な制御が必要である。そして、高精度なものづくりを行うためには「同期性（注1）」と「等時性（注2）」が重視される。IEEE1394は、125 $\mu$ sec通信サイクルという高速な同期データ転送とその通信周期の「ゆらぎ」がない点でも優れている。安価、長期サポートの可能性が高いこと、異常時にはホットプラグ機能を利用したり、非同期通信を使って異常情報の発信やリモートモニタリングしたりすることも可能である。パソコンに一般的に備わっているため、パソコンを介して上位系や下位系とのリンクも比較的容易に行えるなど、FA制御用の様々な機能的メリットを有していると言える。

注1) マスタ（上位コントローラ本体）とスレーブ（サーボドライバなど）との間の通信周期（結果的には制御周期）が一定であること

注2) その通信周期にゆらぎ（ジッタ）が無く、絶対時間で管理できること

#### 4.3.2 高速・大容量ネットワークを利用したデバイス制御技術によって期待される効果

FA 制御用にこのような高速・大容量ネットワークを利用することができるようになると、デバイス制御技術によって次のような効果が期待される。

##### 3. 2 高速・大容量ネットワークを利用したデバイス制御技術によって期待される効果

- a. 装置（制御）の分散化と管理の集中化：生産管理と生産現場の情報の融合
  - ◆ダイナミックな製造プロセス管理（仕掛け、段取り替え）：  
センサーやアクチュエータからのリアルタイムな情報収集による生産性向上
  - ◆装置のメンテナンス情報管理：  
予防メンテナンスによる生産システムのダウン回避  
診断機能の向上による迅速な故障箇所の特特定とダウンタイムの削減
  - ◆製造現場情報の一元管理：稼働情報の収集による工場の最適化（省エネ）
  - ◆デバイス統合管理：ITツールの統合による一括立ち上げ、一括保全
  - ◆オープン化、マルチベンダー化による最適なシステム構築とコストダウン
  - ◆電子マニュアル、Webによる技術・資材情報入手、資材購入
- b. 高速・大容量伝送の効果
  - ◆画像処理機器との接続：連続運転時の異常監視や機械系のリモート診断
  - ◆診断、学習、加工などの情報を大容量記憶装置にリアルタイムに蓄積
  - ◆画像、サーボ制御、I/O制御の信号統合と省配線化によるコストダウン

まず、大容量の情報をリアルタイムで一元化して扱えるようになり、制御の分散化と管理の集中化がもたらすメリットである。ダイナミックな製造プロセス管理ができるようになり、例えば仕掛けとか段取り替え、工程設計など現場で必要な制御や管理情報をリアルタイムに吸い上げ、それに基づいてリアルタイムに処理が可能になる。生産性の向上につながり、QCDS で高い効果を得られることが期待できる。また、種々の情報を流すことができるため、機器のインテリジェント化に対応し易くなる。様々なセンサ系からの信号を利用して自律制御が可能となるほか、センサ信号を利用して装置の予防・予知メンテナンスも実現可能であり、システムのダウンタイムの削減や災害の防止にもつながる。さらに、工場全体の設備稼働状況を把握することができるため、工場の最適運用化（＝省エネ）にもつながる。パソコンでも標準的に装備されることにより、オープン化もしやすく、コストダウンにもつながる。

また、高速・大容量伝送のネットワークを利用する効果としては、これまで情報毎に別々の配線で流していた情報を統合された1本の配線で対応できるという省配線化によるコストメリットがあげられる。

#### 4.3.3 デバイス制御技術を活かした次世代FA応用システムや利用技術

最後に、具体的な利用技術についていくつか提案、提言を行う。

## (1) 産業用ロボットにおける通信技術への期待

### (a) ハーネスの信号線数削減

ロボットアーム内には6個のエンコーダ、モータ用ハーネス、手首に取り付けるツール用のハーネスを通してている。ツールが単純なものである場合はハーネスは多くはないが、画像処理用カメラを2台と溶接トーチというような場合にはハーネスが多くなってしまふ。特に小型のロボットアームはアームが細いため、内部に通せるハーネス数量が少なく対策に苦慮することが少なくない。アーム内を通さずにアーム外にハーネスを設けることも可能であるが、作業の妨げとなる場合がある。

エンコーダ、I/O信号、可能であればビデオ信号もフィールドバスにより伝送することにより、ハーネス本数が削減でき、上記の問題が解決できる。

ただし、フィールドバスの仕様として以下のような要求を満たす必要がある。

- エンコーダ、I/O信号のサイクルタイム（通信周期）は64  $\mu$  sec 程度以下
- 故障箇所特定の容易化
- 2重化が望ましい（安全の考えとして）
- エンコーダ、カメラ、I/O等をネットワークにダイレクトに接続させる等により、現状と同等コストにする

### (b) 複数ロボットの協調動作

近年、「ロボットで大型ワークを搬送したい」、「ロボットで重量ワークを搬送したい」という市場からの要求が多くなっている。このような市場の要求に対して、大型ロボットを開発し対処するという手法があり、ある程度のレベルまでは最も優れた方法である。

しかし1台のロボットでは限界があるため、複数のロボットコントローラを通信により接続し、複数のロボットの協調動作により重量ワークを搬送するという方法があり、既に各ロボットメーカーから市販されている。

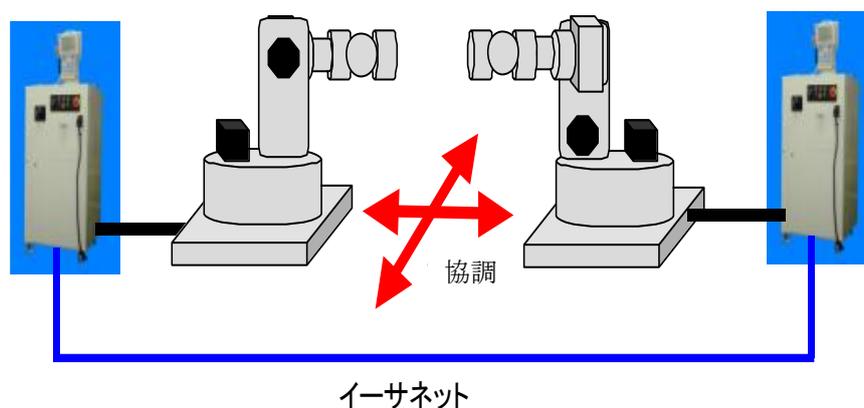


図 4-2 通信協調システム

「大型、重量ワークの搬送」を複数のロボットで実現すると、大型ロボットの利用とは異なる以下の利点がある。

- 複数のロボットでワークを把持することにより、ワークを安定して搬送することができる。
- 複数のロボットでワークを把持することにより、ロボットがワークを把持するための機構（ハンド）を簡単にすることができる。
- ワークの負荷を複数のロボットで分散することにより、標準的なロボットを利用することができる。
- ワークの重量や形状の変更に対して、ロボットの台数の増減により対応できる。

現状では、100Base-T の Ethernet により接続しているが、以下のような理由からより高速な通信が必要である。

- 現状、2 台のロボットでの協調作業が可能であるが、将来は 8 台まで拡張する予定である。2 台の場合と同等のレベルで協調動作を行うためには、通信速度を向上させる必要がある。
- 現状でもよりスムーズな協調制御を行うためにはサイクルタイム（通信周期）を短くする必要がある。特に強度の小さいワークへ適用する場合には、複数台アームの相対位置の精度を向上させる必要がある。しかし、ロボットの位置精度には限界があるため、コンプライアンス制御を取り入れる必要があるが、このためにはサイクルタイムを短縮させる必要がある。

また、Ethernet では問題となりやすい以下の点の改善が望まれる。

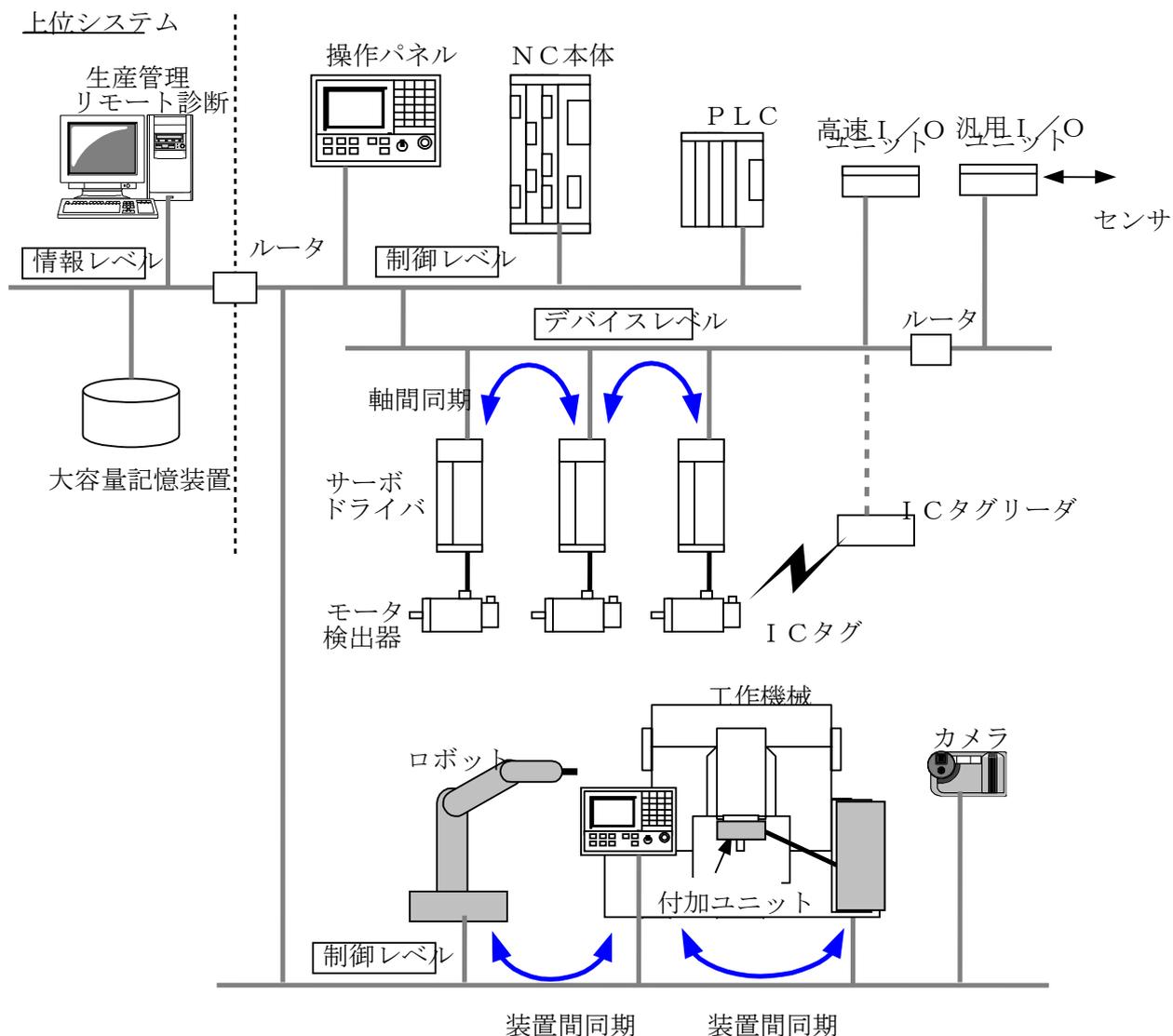
- 通信誤り率の低減
- 耐ノイズ性の向上
- ソフトによるMAC層の再送制御性改善

## （2）等時性（絶対時間）を利用した装置間同期による加工の高付加価値化

工作機械のNC制御装置では、補間動作のためにサーボドライブ間での同期制御（輪郭制御）は当然の技術であり、産業用モーションネットワークに対しても同期性（一定周期）、等時性（絶対時間）を要求している。

今後は、軸間だけでなくNC装置間あるいは異種（ロボットコントローラなど）装置間での等時性（絶対時間）管理が可能になることによって、特殊なアクチュエータ（ユニバーサルヘッド、付加テーブル、ロボットなど）との協調動作による高精度加工も可能になり、機械やシステムの高付加価値化、差別化が図れる。

センサー、アクチュエータについては、その基本パラメータなどの情報をICタグによりあらかじめネットワーク上の上位コントローラへインプットして情報（知識）を分散させておくことにより、立ち上げ、調整を補助させ、制御レベルのプログラミングや伝送負荷を低減させることも有効である。



### (3) 高速ネットワーク技術によって期待される効果についての考察

高速ネットワーク技術の次世代FAシステム応用に対する効果としては、「通信周期の高速化」、「大容量通信との併存」、「制御軸数の増加」の3点が想起されるが、特に前二者に関して大きな効果が期待できる。

#### (a) 通信周期の高速化

すでに表 4-1 に示したように、現状ではクラスBの数 msec~250 $\mu$ sec 程度の通信周期を持ったモーション制御用ネットワークが大方であるが、汎用の高速ネットワーク技術の応用展開によってクラスAの 125 $\mu$ sec~31.25 $\mu$ sec の通信周期の実現が確実である。

これによって、より一層の超精密・高精度加工が合理的な加工時間で実現できるようになると期待できる。

しかしそのためには、こうしたネットワーク技術の進展に見合った、コントローラ、サーボド

ライバ等の処理性能向上とメカ精度の向上が必要となる。

#### (b) 大容量通信との併存

ネットワークは指数的に高速化・大容量化しているが、反面で各制御軸に対する指令データ量は、制御高精度のための指令分解能向上分を考慮しても、たかだか数倍の増加で事足りると考えられる。このため、数100Mbps～数Gbpsクラスのネットワークが実現した場合には、制御データと併存する形で、情報系データの通信帯域を同一伝送ライン上に確保できるようになると予測される。

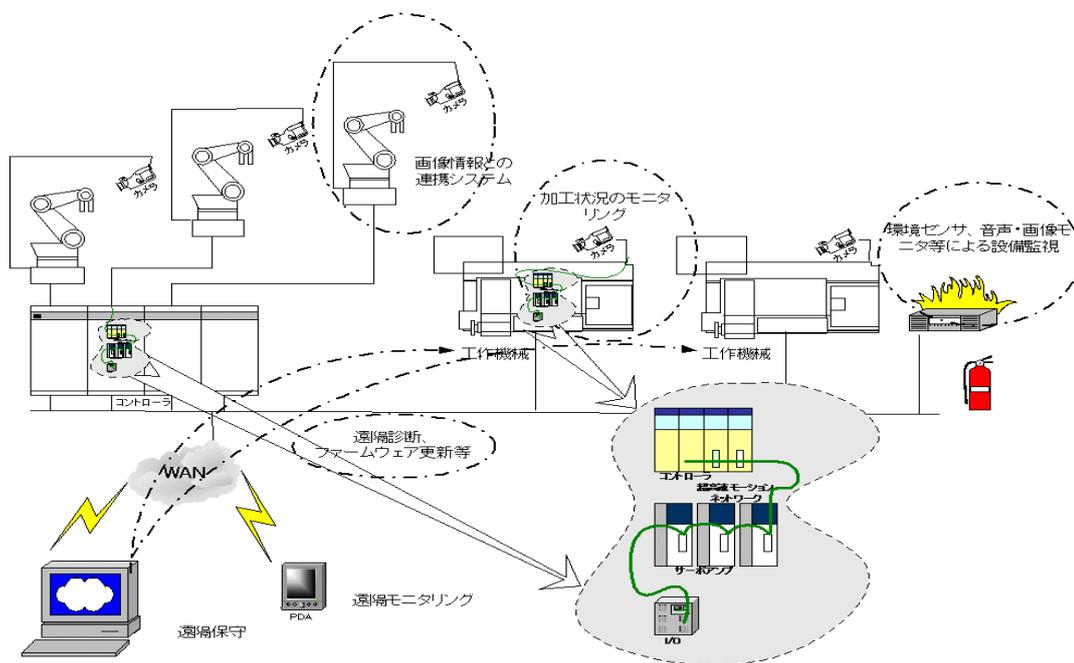
こうした情報系データの処理、いわゆるIT技術との連携によって、高い利便性を持ったメカトロニクスシステムの実現が期待できる。

例えば、

- オンライン系 : 環境センサ、音声、静止画、動画データとモーション制御の併存
- オフライン系 : システムプログラム/データベースの高速ダウンロード

などが可能となることによって、遠隔サイトからの現場状況の把握、オンラインでの設備診断、保守、あるいはセンサ・画像情報の処理とモーション制御技術の連携したインテリジェントな機械システムなどの実現が期待される。

こうしたIT技術との連携のためには、TCP/IP、Webサービス、XML等のキー技術の活用が重要となってくる。



#### (4) モーション制御用オープンネットワークとしての要求仕様

最後に、モーション制御用の高速ネットワークとして今後期待する要求仕様について言及しておく。

### モーション制御用オープンネットワークとしての要求仕様

	IEEE1394(FAOP仕様)		要求仕様 (現状)		要求仕様 (5年後)
送信媒体	IEEE1394/100Mbps/400Mbps		-		-
通信周期	125 $\mu$ sec $\times$ n		250 $\mu$ sec / 125 $\mu$ sec		15.625 $\mu$ sec
トポロジー	ツリー				
ノード間距離(局間)	100m		100m以上		100m以上
ケーブル長(総延長)	100m				
通信周期例	125 $\mu$ sec(100Mbps)	125 $\mu$ sec(400Mbps)	250 $\mu$ sec	125 $\mu$ sec	15.625 $\mu$ sec
ノード数	12	16	16	8	16
通信周期の同期精度(ジッタ) (マスター～スレーブ間)	1 $\mu$ sec以下		1 $\mu$ sec以下		100nsec以下
データフレーム長例	32byte	32byte	32byte		32byte
同期方法	・時間同期ノードスケジューリングによりISOとAsyncに切替(IEEE1394規格による)				
特徴	・FAOPデバイス制御用高速ネットワーク専門委員会が開発したDSプロトコルによるFA用高速シリアルバス				
プロコル	・2006.3 DSプロトコル1.0策定完				

付表1. 主なネットワークの仕様比較

番号	名称	概要	アクセス制御	最大 ノード数	伝送速度	伝送距離		
1	IEEE1394	IEEE1394a	アップル社が自社のパソコン向けに開発	マスタースレーブ	63	~400Mbps	4.5m	
2		IEEE1394b	IEEEの委員会でIEEE1394aを改良したもの	マスタースレーブ		100Mbps ~800Mbps ~3.2Gbps	4.5m~100m	
3		IEEE1394 (FAOP仕様)	FAOPデバイス制御用高速ネットワーク専門委員 会で開発したDSプロトコルによるFA用高速シ リアルバス	マスタースレーブ	12(100Mbps) 16(200Mbps) 16(400Mbps)	100Mbps 400Mbps	4.5m~100m	
4	ATM (Asynchronous Transfer Mode)	公衆回線のバックボーン向け	タイムスロットによる多 重化		25Mbps ~625Mbps ~			
5	Bluetooth	近距離のワイヤレスネットワーク	マスター/スレーブ		1Mbps	5m		
6	CAN	CAN	車載LANとして普及	CSMA/CA	~1Mbps	~100m *40m/1Mbps *1,000m/50kbps		
7		TTCan (Time-triggered CAN)	CANの上位層プロトコル 周期データを送信する時間領域を追加					
8	CC-Link	CC-Link	シーケンサ専用ネットワーク	マスター/スレーブ	64	156kbps ~10Mbps	100m~1200m	
9		CC-Link Ver. 2	CC-Link Ver. 1からデータ量等を拡張					
10		CC-Link/LT	CC-Link支線向け					
11	Devicenet	物理層、リンク層にCANを使用した上位層の規格	CSMA/CA	64	125kbps 250kbps 500kbps	500m(125kbps) 250m(250kbps) 100m(500kbps)		
12	EtherCAT	Ethernetを下位層に利用 リアルタイム性の追加			100Mbps			
13	EtherNet/IP	DeviceNetの上位プロトコルであるCIP(Common Industrial Protocol)をEthernet上に実装	CSMA/CD		100Mbps			
14	Ethernet-Powerlink	Ethernetを下位層に利用 リアルタイム性の追加			100Mbps			
15	FlexRay	自動車でx-by-wireなどに使用するために策定、完全 2重化、相互監視による高い信頼性	TDMA	22	10Mbps	24m		
16	FL-net	Ethernet、UDP/IP上でトークンパッシングを行うFA 用バス	トークンパッシング		10Mbps	100m (HUB-ノード間)		
17	Foundation Fieldbus	プロセスオートメーションの世界でProfibus-PAの対 抗規格、分散処理的色彩の強いプロトコル		32	31.25kbps	1,900m *ビット使用 9,500m		
18	Gigabit Ethernet	1G Ethernet IEEE802.3ab	0A用に普及しているEthernetの高速版	CSMA/CD		1Gbps	100m (ツイストペア)	
19		10G Ethernet						
20	Lon Works	ビルオートメーションの分野でよく使われている。	CSMA/PA		78kbps	2,700m		
21	MACRO (Motion And Control Ring Optical)	サーボ向け	マスター/スレーブ		100Mbps			
22	MECHATROLINK	MECHATROLINK-I	複数のサーボ間の精密な同期制御や高速性に重点を 置いたモーション制御用ネットワーク。	マスター/スレーブ	15	4Mbps	50m	
23		MECHATROLINK-II			30	10Mbps	50m	
24	MOST (Media Oriented Systems Transport)	欧州を中心に情報系の車載ネットワーク	TDMA		25 Mbps			
25	Profibus	Profibus-DP	ヨーロッパおよびアジアでPLC用ネットワークとして普及し ている。もともとはドイツ発祥の規格。	マスタースレーブ	32	*ビット使用 126	9.6k~12Mbps	100m~1,000m
26		PROFIdrive	PROFIBUS規格にモーションコントロールに必要な機 能を追加					
27		PROFINet	Ethernetを下位層に利用 IRTはASIC(ERTEC200/400)によるハード同期機能	TDMA				
28	Responsive Link	ハードリアルタイムが要求される制御に使用するイ ベント通信と、ソフトリアルタイムでよいマルチメ ディアデータ伝送が可能				800Mbps ~12.5Mbps	40m~100m	
29	SERCOS (Serial Realtime Communication System)	SERCOS	モーション制御向け	TDMA	254	2Mbps, 4Mbps 8Mbps, 16Mbps	40m(プラスチック) 200m(ガラス)	
30		SERCOS-III	Ethernetでリングを構成し、ハードによる同期機能 を採用	TDMA		100Mbps		
31	SSCNET	SSCNET	サーボ向けネットワーク		8	5.6+5.6Mbps	30m	
32		SSCNET II			6			
33		SSCNET III			16			50+50Mbps
34	SX Bus					25Mbps	25m 1,00m(光)	
35	SynqNet	Ethernetを下位層に利用 モーション制御を意識		254	100+100Mbps		100m	
36	USB	USB 1.1	パソコン周辺機器用	マスター/スレーブ		1.5Mbps 12Mbps	4.5m	
37		USB 2.0	USB 1.1から高速化、プロトコル改良			1.5Mbps 12Mbps 480Mbps		
38		USB OTG	マスター、スレーブの両方の機能を持てるようにす る規格					

メディア、トポロジー	団体	URL	備考	番号	
ツリー	1394 Trade Association	<a href="http://www.1394ta.org/">http://www.1394ta.org/</a>	IEEE802.15.3を下位層に使用してWireless化する仕様が策定されつつある。	1	
ツリー		<a href="http://www.1394ta.org/">http://www.1394ta.org/</a>		2	
ツリー	F Aオープン推進協議会 デバイス制御用高速ネットワーク専門委員会	<a href="http://www.mstc.or.jp/faop/">http://www.mstc.or.jp/faop/</a>		3	
point-to-point スイッチ	ATM Forum UNI V3.0/V3.1	<a href="http://www.atmforum.com/">http://www.atmforum.com/</a>	コネクシオンタイプ 53パケット長固定	4	
ワイヤレス	Bluetooth Special Interest Group	<a href="https://www.bluetooth.org/">https://www.bluetooth.org/</a>		5	
ツイストペア線 バス	CanOpen	<a href="http://www.canopen.org/">http://www.canopen.org/</a>		6	
		<a href="http://www.canopen.org/">http://www.canopen.org/</a>		7	
シールド付き ツイストペア線	CC-Link協会	<a href="http://www.cc-link.org/">http://www.cc-link.org/</a>		8	
				9	
				10	
専用フラット ケーブル					
ツイストペア バス	ODVA (Open DeviceNet Vendor Association)	<a href="http://www.odva.org/">http://www.odva.org/</a>	ISO 11898, 15745 IEC 62026-3 EN 50325-2	11	
Ethernet/100Mbps		<a href="http://www.etherncat.org/">http://www.etherncat.org/</a>	信号処理はハード化されたプロトコル・チップで実行される	12	
Ethernet/100Mbps	ODVA (Open DeviceNet Vendor Association)	<a href="http://www.odva.org/">http://www.odva.org/</a> <a href="http://www.ethernet-ip.org/">http://www.ethernet-ip.org/</a>		13	
Ethernet/100Mbps		<a href="http://www.ethernet-powerlink.org/">http://www.ethernet-powerlink.org/</a>	専用のハードウェアを必要とせず、ネットワークの衝突を回避するタイムスライスシステムをソフトウェアで実装	14	
bus star multiple star	FlexRayコンソシアム	<a href="http://www.flexray.com/">http://www.flexray.com/</a>	自動車メーカーが採用を検討中	15	
Ethernet/10Mbps	JEMA	<a href="http://www.jema-net.or.jp/">http://www.jema-net.or.jp/</a>	100Base-T 光ファイバについて検討中	16	
STP	フィールドバス協会	<a href="http://www.fieldbus.org/">http://www.fieldbus.org/</a>	プロセス・メーションPAの分野で使われる本防爆対応のフィールドバス電源も通信線で供給	17	
光ファイバ ツイストペア	IEEE	<a href="http://grouper.ieee.org/groups/802/">http://grouper.ieee.org/groups/802/</a>		18	
光ファイバ		<a href="http://www.10gea.org/">http://www.10gea.org/</a>	ツイストペア仕様は検討中	19	
ツイストペア バス スター	echelon	<a href="http://www.echelon.com/">http://www.echelon.com/</a>		20	
光ファイバ リング	Delta-Tau Data Systems	<a href="http://www.macro.org/">http://www.macro.org/</a>	9バイト/パケット固定	21	
バス	MECHATROLINK協会	<a href="http://www.mechatrolink.org/">http://www.mechatrolink.org/</a>	周期：2msec データ長：17バイト	22	
バス			周期：250μsec～8msec データ長：17/32バイト	23	
プラスチック 光ファイバ リング・トポロジ		<a href="http://www.mostcooperation.com/">http://www.mostcooperation.com/</a>	タイミング・マスタに同期して転送	24	
ツイストペア線/RS-485 光ファイバ	プロフィバス協会	<a href="http://www.profibus.com/">http://www.profibus.com/</a>	IEC61158, IEC61784 物理層に本質安全対応のトランシーバを使用するProfibus-PAという規格もある。	25	
ツリー					26
Ethernet/100Mbps				Ver.2ではソフトリアルタイム(RT) Ver.3ではハードリアルタイム(IRT)	27
トポロジーフリー Point-to-point	情報処理学会 SC25専門委員会WG4	<a href="http://www.itsecj.ipsj.or.jp/ipsj-ts/02-06/toc.htmcommittees/sc25/sc25res.html">http://www.itsecj.ipsj.or.jp/ipsj-ts/02-06/toc.htmcommittees/sc25/sc25res.html</a>	パケットサイズは64バイト固定	28	
光ファイバ リング	IGS	<a href="http://www.sercos.com/">http://www.sercos.com/</a> <a href="http://www.sercos.org/">http://www.sercos.org/</a>	EN/IEC 61491で標準化 typical Cycle time : 1 msec	29	
リング Ethernet/100Mbps			周期:31.25μsec(最小) TCP/IPパケットが流せる	30	
				31	
	三菱電機	<a href="http://www.mitsubishielectric.co.jp/">http://www.mitsubishielectric.co.jp/</a>		32	
					33
光ファイバ					
	富士電機			34	
Ethernet/100Mbps	mei社	<a href="http://www.synqnet.org/">http://www.synqnet.org/</a>	モーション制御用 リング形状に閉じたネットワークにより任意のノードが故障してもシステムの動作を保證する	35	
				36	
ツリー	USB Implementers Forum, Inc.	<a href="http://www.usb.org/">http://www.usb.org/</a>	UWBを利用してWireless化するという動きがある 速度は480Mbps以上	37	
				38	

付表2. 主なネットワークの規格 (付表1に記載のネットワークを除く)

番号	名称	概要	伝送速度	メディア、 トポロジー	団体	URL	備考
1	IEEE802.11*	802.11b	11Mbps	2.4GHz帯 ワイヤレス	IEEE	<a href="http://standards.ieee.org/wireless/">http://standards.ieee.org/wireless/</a>	
2		802.11a	50Mbps	5GHz帯 ワイヤレス			
3		802.11g	50Mbps	2.4GHz帯 ワイヤレス			
4		802	Personal Area Network	200k ~20Mbps			ワイヤレス
5		802	broadband wireless access				ワイヤレス
6	IEEE1451	protocols for sensors		ワイヤレス	IEEE	<a href="http://grouper.ieee.org/groups/1451/5/">http://grouper.ieee.org/groups/1451/5/</a>	
7	IEEE1588	Ethernet上で計測・制御用のリアルタイム通信を行う。各ノードのクロックを同期させる方式についての規格			IEEE	<a href="http://ieee1588.nist.gov/">http://ieee1588.nist.gov/</a>	
8	IEC61158/EN50170	IEC61158はFoundation Fieldbus, Contorlnet, PROFIBUSなどをまとめる規格			IEC		
9	IEC61784-1	連続系、離散系対応プロファイルセット			IEC		
10	IEC61784-2	特にEthernet技術を利用しリアルタイム性を兼ね備えたネットワークのプロファイルを規定 (予定)			IEC		

別冊

1394 based Digital Servo Specification Ver 1.0

[Mar. 15, 2006]

禁無断転載

FAOPデバイス制御用高速ネットワーク専門委員会  
成果報告書

発行 平成18年3月

発行者 FAオープン推進協議会  
〒105-0001  
東京都港区虎ノ門三丁目11番15号  
財団法人 製造科学技術センター内  
電話 03-5472-2561