
製造・検査システムにおける フィールド・ネットワーク利用のポイント

株式会社テクノホロン

概要

- **近年、ネットワーク接続を可能とした組込み製品が増えてきました。FAの世界でも装置や機器を生産管理ネットワークに接続する要求が増えています。**
装置や機器に汎用OSを使う場合も多くなり、ネットワーク接続がより容易になった事情も後押ししているといえるでしょう。
- **装置・機器間ネットワークとあいまって、装置・機器内でのネットワーク利用もよく見られるようになりました。これらの中には生産管理などの上位ネットワークと透過的に接続できるものもあります。**
- **これらの、装置や機器あるいはデバイスが相互接続されたネットワークシステムは、ただ相互をつなぐだけではシステムに要求される性能を実現できない／機能を実現できない危険性を持ちます。用途とそこで要求される機能／性能はもちろん、ネットワークの特性や安全性をも考慮した選定・設置・運用が必要とされるのです。**
- **本講座は、FA装置・機器をネットワークの視点からとらえ、そこに必要とされるこれらの要件について解説します。**

Agenda

1. システム開発への要求

- 1. 1 多機能化とQ (信頼性、保守性、移植性) CD+S (Security and/or Safety)

2. 制御システムでのネットワーク、その目的

- 2. 1 情報の伝達・共有・利用 and/or 制御
- 2. 2 何をネットワークに流すのか？

3. 設計上のポイント

- 3. 1 システムのスコープと、スコープ内での透過性
- 3. 2 ユーザからの合目的性
- 3. 3 ベンダとしての合目的性 (保守性[製造容易性を含む]、コストなど)
- 3. 4 実装手段の概要

4. 運用上のポイント

- 4. 1 セキュリティ
- 4. 2 トラフィックとバンド幅

5. 事例

- 5. 1 装置内構成事例(センサ・アクチュエータバスとEthernetの使い分け)

FAネットワークのキーワード

● 目的

- 生産管理(工程、品質)、設備管理(稼働率、故障予測、保全)
- 自動化:ヒューマンエラーの削減、人間の働く環境を改善

● 手段

- 技術要素

- 帯域(Band Width)、リアルタイム性
- 独自媒体、Ethernet媒体(TCP/IPと共存または独立)
- データの表現形式 XMLへの流れ
- 安全系(機能安全)
- リアルタイム性の確保

- 管理要素

- セキュリティ
- 稼働管理:ログ、時刻同期

- 装置・機器提供者にとっての製造容易性・保守性

- 省配線

まず フィールドバスのメリットとは？

- **ユニット化による拡張性**

- 装置／コントローラ、センサやアクチュエータ／モータ(スマートデバイス)の追加が容易

- **省配線性**

- **リアルタイム性**

- 多くのフィールドバスは、リアルタイム性を持つ

- **管理の容易性**

- 上位システムからの生産情報、装置／コントローラ／アクチュエータの保守・データ管理
- バスを介した、データの横展開

この特性を使って目的をどう達成するか？

全体から見てみよう:システム開発への要求

- Quality (**機能性、信頼性、保守性、効率性、移植性**)
Cost
Delivery
+S (Security and/or Safety)

- **設計が重要**

ネットワークの利用・接続は、後工程で考えれば良いというものではない

制御システムでのネットワーク、その目的

- **情報の伝達**
 - イベント
- **情報の共有・利用**
 - 稼動情報
 - 稼動のためのレシピ情報
- **制御**
 - 装置内制御
 - リモートからの制御

目的を実現するために

- **何をネットワークに流すのか？**

- **イベント** 事象を通知する
操作が行われたことを通知する
- **データ** 数値データや画像データ
- **コマンド** 制御命令
- **など**

設計上のポイント

システムのスコープとネットワークの論理階層 (1)

Internet B2B(SCM etc.), B2P etc.
OSI/CIMモデル レベル6

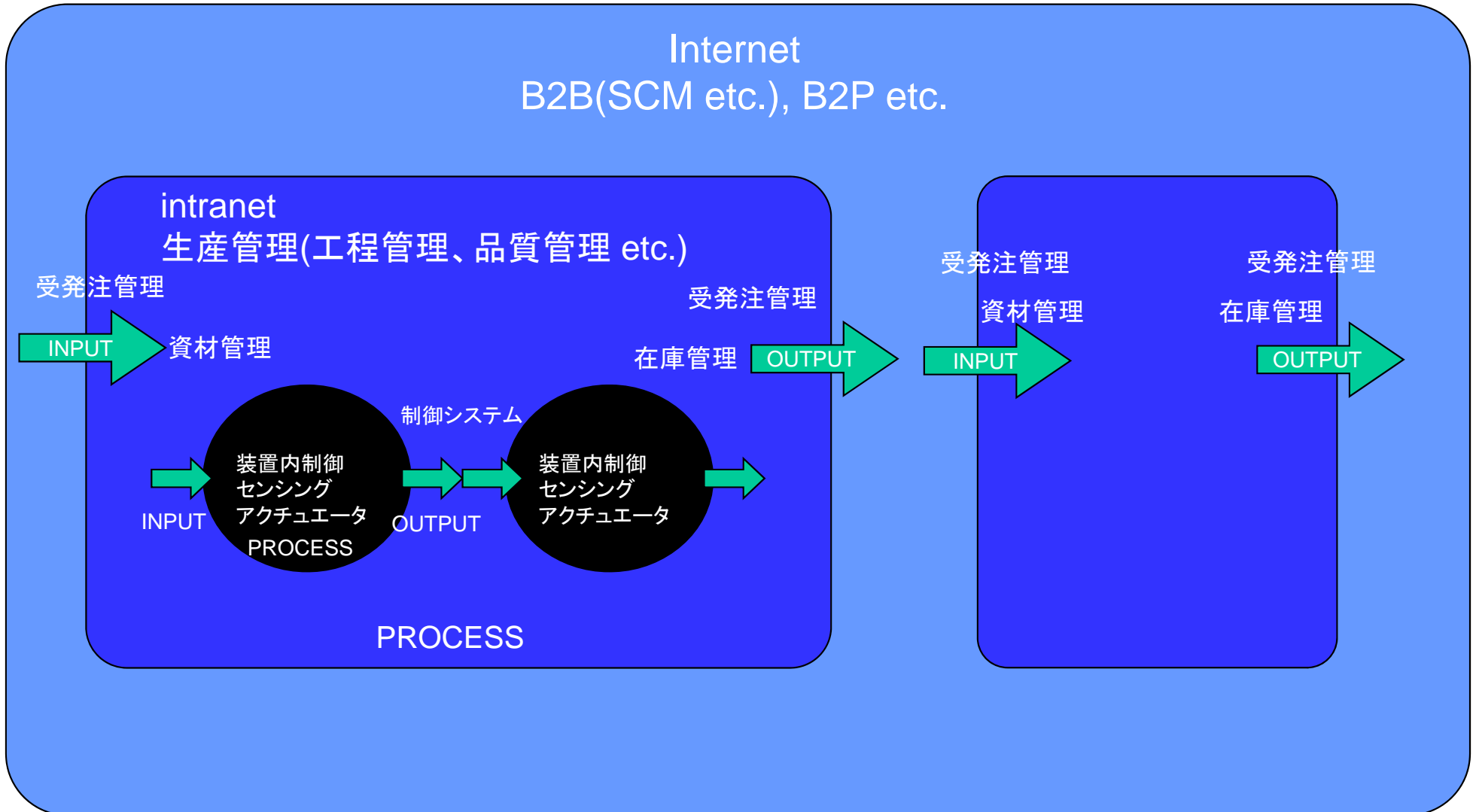
intranet

受発注・在庫・資材管理 etc. OSI/CIMモデル レベル5
生産管理(工程管理、品質管理 etc.) OSI/CIMモデル レベル3, 4

装置内/制御システム
センシング
アクチュエータ制御
OSI/CIMモデル レベル1, 2

設計上のポイント

システムのスコープとネットワークの論理階層(2)



ネットワーク実装について考える手順

1. **システムの及ぶ範囲(スコープ)を明確にする**
2. **対象となるシステムについて、機能(論理)ブロックを抽出する**
3. **機能ブロック間の通信について、まとめる**
 - トラフィック頻度
 - データサイズ
 - リアルタイム制約
4. **通信の条件を満足するネットワーク技術を選定する**

システムスコープのモデル記述

ケーススタディ: 工程管理サーバにJ台の装置を接続するシステム。

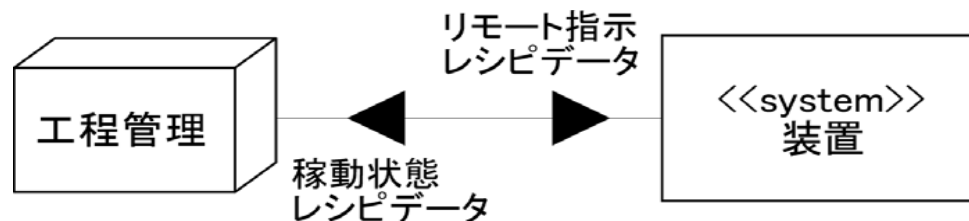
装置はUI部と制御部という論理ブロックを持つ。

制御部は、K個のモータ制御、M個のインターロックスイッチ、N個の表示器を論理ブロックとして持つ。

装置は工程管理サーバから動作指示と稼働のためのレシピデータのダウンロードを受ける。

装置は工程管理サーバへ、稼働状態の報告と装置が持つレシピデータのアップロードを行う。

対象となるシステムの範囲(スコープ)を明確にする。

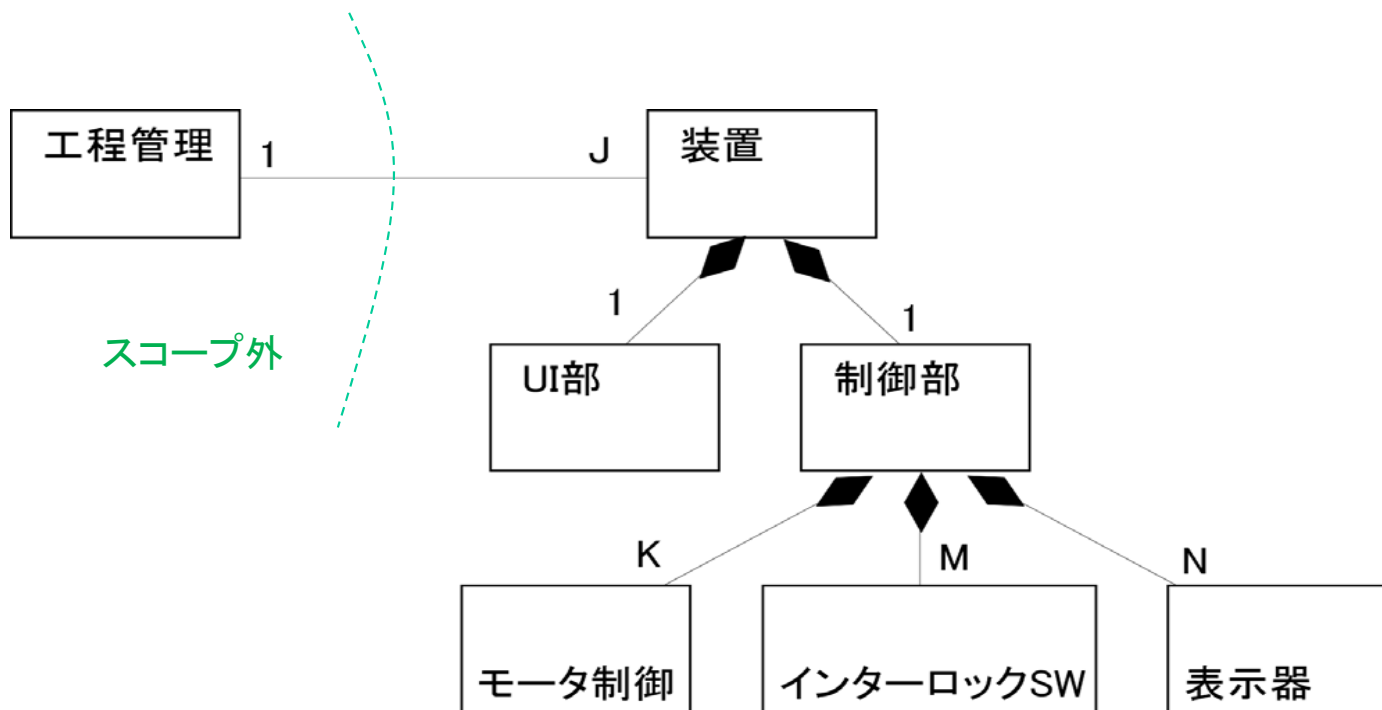


装置との材料の入出力などを省略している

設計上のポイント

システム論理構造のモデル記述

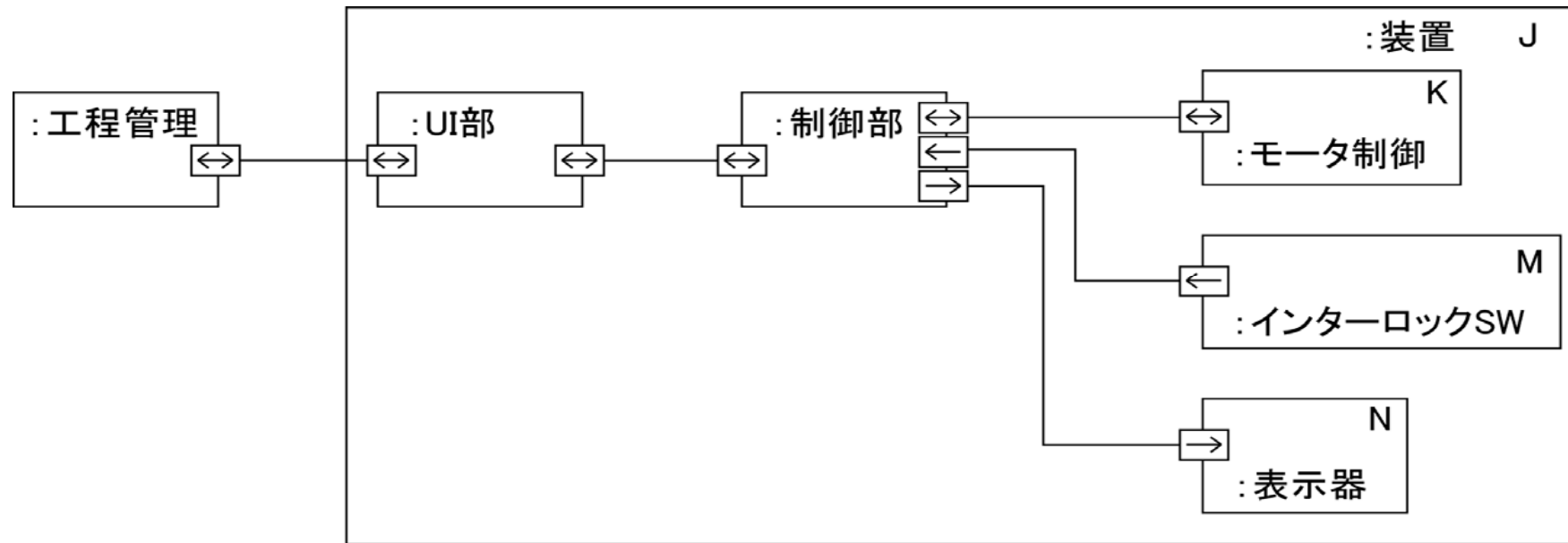
スコープを明確にしたものについて、論理構造を明確にする。



設計上のポイント

システム論理構造のモデル記述

前ページにあるケーススタディの論理ブロック(機能ブロック)構成をブロック間のデータ接続として図示すると、一例として下図のようになる。



課題:どの接続を、どのような手段で実装するか?

要求されるQCDS特性を満足するのは直結? ネットワーク?

システム論理構造について留意すべきこと

- **スタティックな視点**

凝集度と結合度 を意識したブロック化

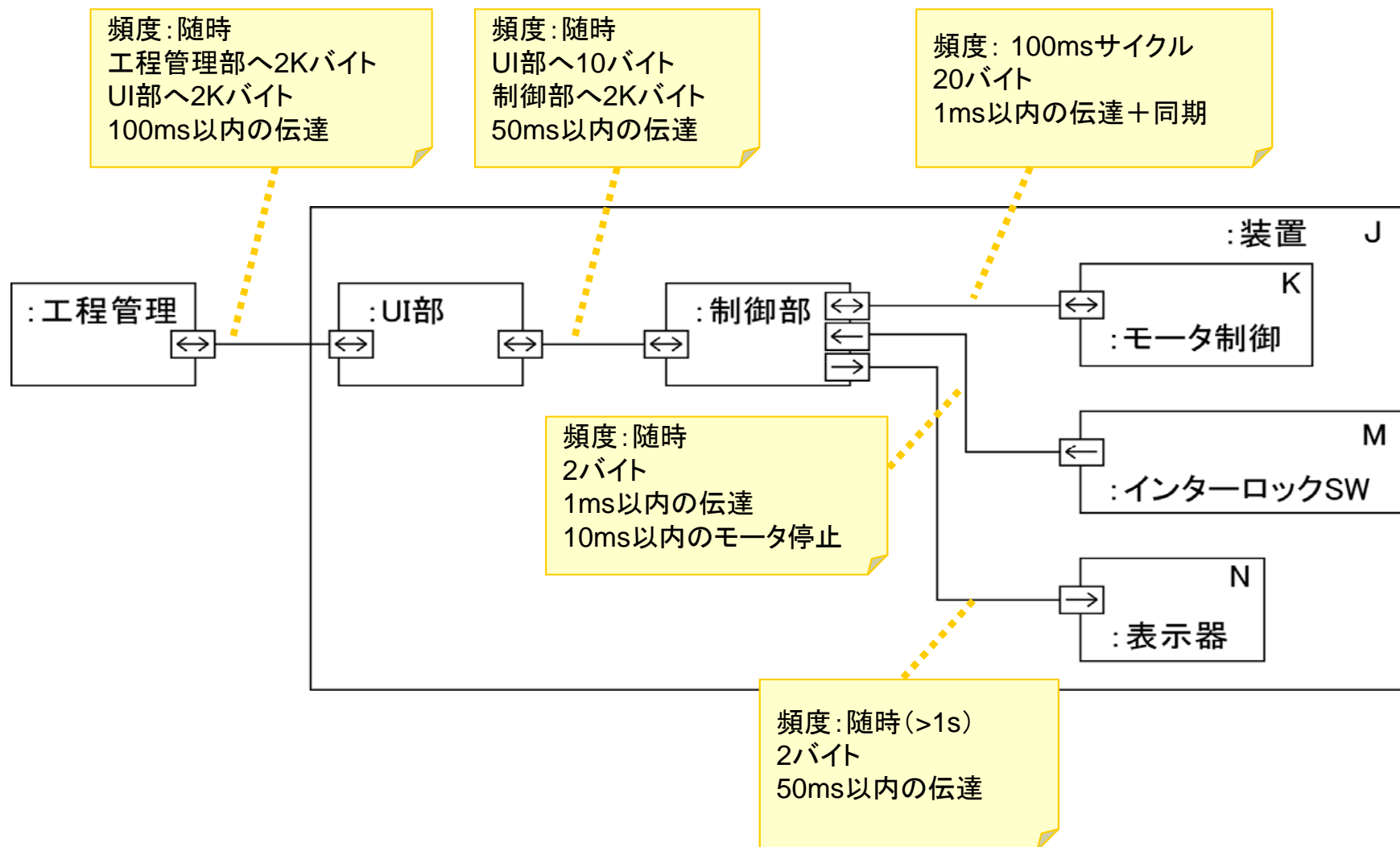
- システムは複数の論理機能ブロックから構成される
- 論理ブロックは単機能であること(凝集度)
- 論理ブロック間には余計なインタフェースが存在しないこと(結合度)

- **ダイナミックな視点**

トラフィック のまとめ

- トラフィックの頻度
- トラフィックの1回あたりの量
- リアルタイム制約

設計上のポイント ダイナミックな視点の例



システム論理構造の、物理構造へのマッピング

- **論理構造を実装構造(物理構造)に変換する**

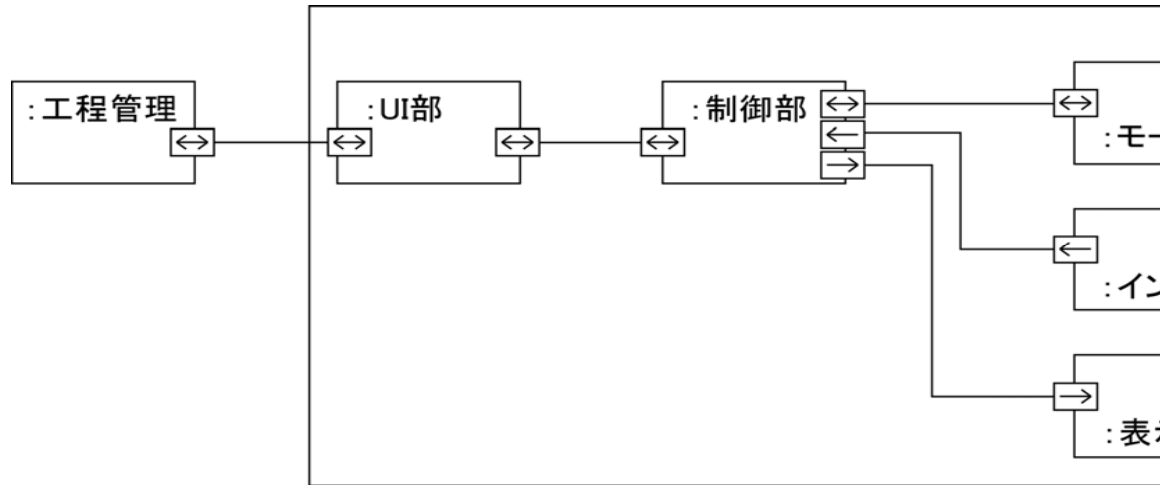
- ボトルネックに留意して、ダイナミックな視点:要件を満たす物理構成に変換する

- **このときに留意すべき、機能面の合目的性**

- デバイス/ユニットやコントローラの対応 機能性
- リアルタイム要件 機能性
- 耐障害性 信頼性
 - ・ 機器内ネットワークでは、特にノイズ耐性
- スケーラビリティ
 - ・ バンド幅の余裕 効率性
 - ・ 接続の容易性 保守性
 - ・ アドレッシングの容易性 保守性
- セキュリティ、安全 機能性、信頼性

- **加えて、供給者としての合目的性(後述)も留意する**

物理構造での判断例



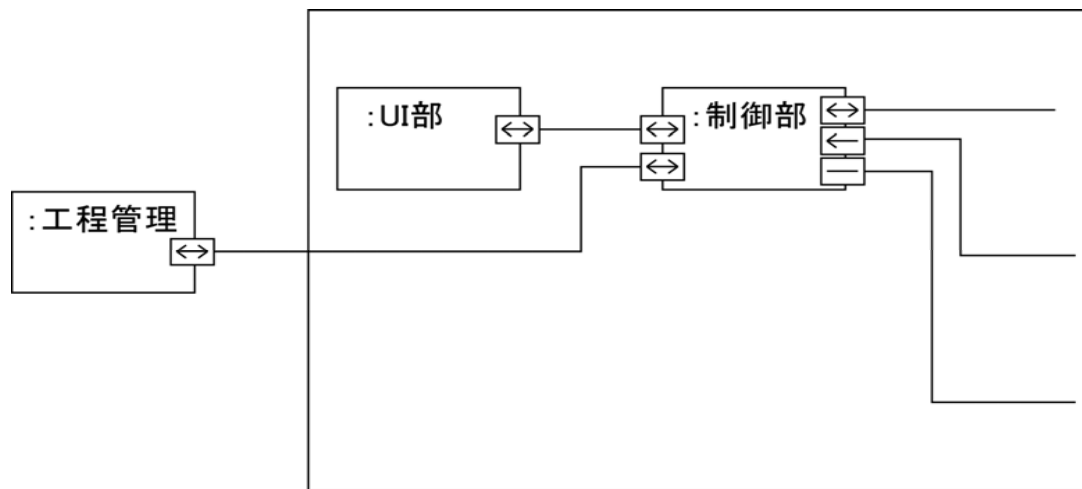
プラットフォームの視点:

上の例は、UI部に汎用OSを採用する構成でよく見られる。下の例は、制御部にPLCを採用する例でよく見られる。

機能の視点:

工程管理との通信が制御部のリアルタイム性に影響しないレベルであるならば、下側のトポロジもありうる。

制御部が工程管理との通信プロトコルを直接実行できない場合には間にゲートウェイをはさむ。



セキュリティ: 守るべきものを守る

● なぜセキュリティ？

- FA機器に汎用OSを採用する場合、PCなどを標的としたウィルスやワーム、トロイの木馬といったマルウェアへの感染の可能性に留意すべき
- マイコンベースの専用環境であっても、もはや安心できない
 - スタックスネット(2010年)
シーメンス社のPLC上で稼動する特定のアプリケーションを標的。目的は稼動妨害攻撃？
 - マイコン環境をハッキングする試み
- ネットワークは、容易に盗聴できる

稼動妨害には
・ネットバンド幅を使い切る
・CPUやディスクを使い切る
・動作を変える/壊す
などのパターンがある

● セキュリティ

- 稼動妨害、破壊、改ざん、盗難への耐性
- ネットワークホスト上のプログラムやデータの保護
- ネットワークを流れるデータの保護

セキュリティ: 守るべきものを守る

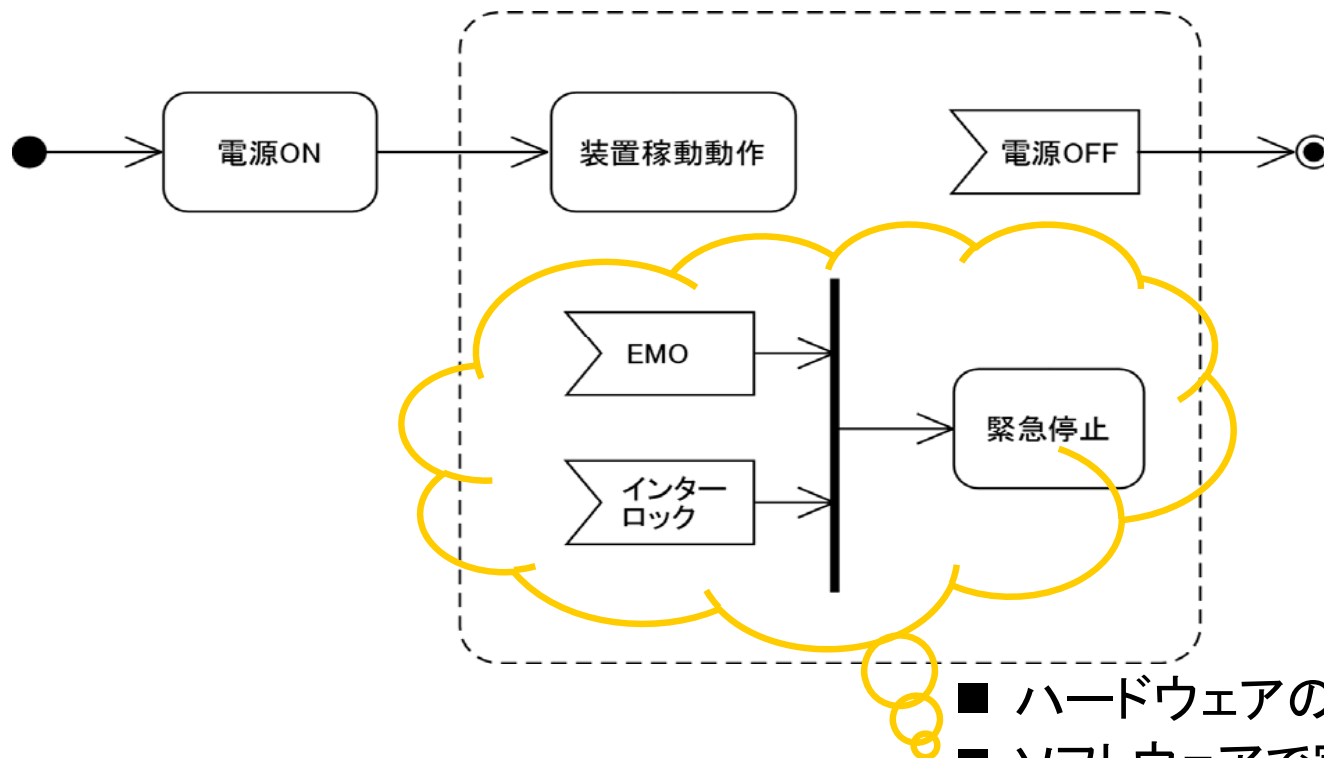
セキュリティ対策は
・リスクを評価・識別した上で
・コストに見合った対策を
・システム全体で実施する
必要がある

● セキュリティレベル向上策例

- 物理的な障壁
 - 入退室管理を行う(運用設計)
 - USBポートを機械的に使用できなくする
- アクセス制御
 - パスワードをデフォルトのまま放置しない
 - 装置へのネットワークログインを禁止する
 - 装置へのログインアカウントを管理する
 - 装置が外部と通信する相手とプロトコルを限定する
- セキュリティに関する設計情報の公開を制御する
- 必要に応じて通信データや通信経路を暗号化する
- セキュリティ対策ソフトを利用する
 - CPU負荷への影響評価、アップデートの運用設計が重要
 - ホワイトリスト型の対策ソフトを選択するという手もある
- OSのセキュリティアップデート運用を設計する

安全

● FA機器での重要要件：安全要求への対応



- ハードウェアのみで実装？
- ソフトウェアで実装？
 - 通常の割り込みなどで実装？
 - 安全ネットワークで実装？
 - ほか

供給側の合目的性

- **供給側の合目的性**

- 保守性

- 製造容易性、交換容易性
- 製品のライフサイクルに対して保守期間は十分か
(顧客要求でもある)

- コスト

- など

実装手段

- **フィールドバス技術**

- フィールドバス技術の特徴 センサ、モーション、センサ & モーション、安全ネットワーク

- **インターネット技術**

- インターネット技術の特徴 情報系との統合、クラウド

フィールドバス技術の種別と特徴

- **総じて、リアルタイム性を保証**
 - 最悪応答時間が保証されているということ
 - 最悪応答時間は、ネットワークに接続されるノード数やトポロジによって左右されるものが多い

- **センサ・アクチュエータバス**
- **モーションバス**
- **センサ&モーションバス**
- **安全ネットワーク**

フィールドバス技術の種別と特徴

- **センサ・アクチュエータバス**

- DeviceNet, CompoNet, EtherNet/IP, A-LINK, SAVE NET

- **コントローラバス**

- ARCNET, FL-net, Safety BUS p, PROFIBUS / PROFINET

- **センサ&モーションバス**

- Motionnet, MECHATROLINK, EtherCAT, CC-Link, Safety Net p, PROFIBUS / PROFINET

- **安全ネットワーク**

- Safety over EtherCAT, DeviceNet Safety / EtherNet/IP Safety, SafetyNET p

フィールドバス名称は各社または各推進団体のトレードマーク／登録商標です

フィールドバス技術の種別と特徴

- **媒体別**

- 専用線を使用 か xx BASE-Tケーブルを流用 か 他

- **汎用Ethernet(TCP/IP通信)との共存**

- 可(汎用ハブやルータ)
- 可(フィールドバス通信に対応したルータ)
- 不可(ゲートウェイを介して可)
- 不可

- **トポロジ**

- バス, スター, リング

- **通信制御**

- 1対1, 1対n, n対n
- ポーリング, イベント, ブロードキャスト
- スケジューリング

- **バス最大長と最大局数**

フィールドバス技術の種別と特徴

	PROFIBUS DP	CC Link-IE Field	DeviceNet	MECHATROLINK III	Motionnet	Ethernet/IP	EtherCAT	FL-net
制御方式	マスター/スレーブ+ Token Passing (マスター間)	Token Passing	N:N (CAN)	マスター/スレーブ	マスター/スレーブ	TCP/IP	マスター/スレーブ	Token Passing
最大通信速度	12Mbps	1Gbps	500kbps	100Mbps	20Mbps	1Gbps	100Mbps ※	100Mbps
用途	センサ・アクチュエータ制 御	センサ・アクチュエータ制 御 コントローラ間通信	センサ・アクチュエータ・モ ーション制御	(センサ・)モーション制御	センサ・アクチュエータ・モ ーション制御	センサ・アクチュエータ・モ ーション制御 情報通信	センサ・アクチュエータ・モ ーション制御 安全制御	コントローラ間通信
通信データ サイズ(バイト)	244	2048max	8	64 max.	256max			1024max
最大ステーション数	126	254	8/Subnet	62	64	制限なし	65535	254
トポロジ	バス ツリー スター	バス スター リング	バス ツリー スター マルチドロップ	カスケード スター P2P	バス	バス ツリー スター	バス ツリー スター リング	バス
伝送距離	100m(12Mbps)	100m(局間)	100m(500kbps)	100m(局間)	100m(20Mbps)	100m(局間)	100m(局間)	100m(100BASET)
ケーブル	4線ツイストペア 光ファイバ	Ethernet(STP)	5線ツイストペア	Ethernet(STP)	Ethernet(STP)	Ethernet(STP)	Ethernet(STP)	Ethernet

※仕様上は1Gbpsまで対応可

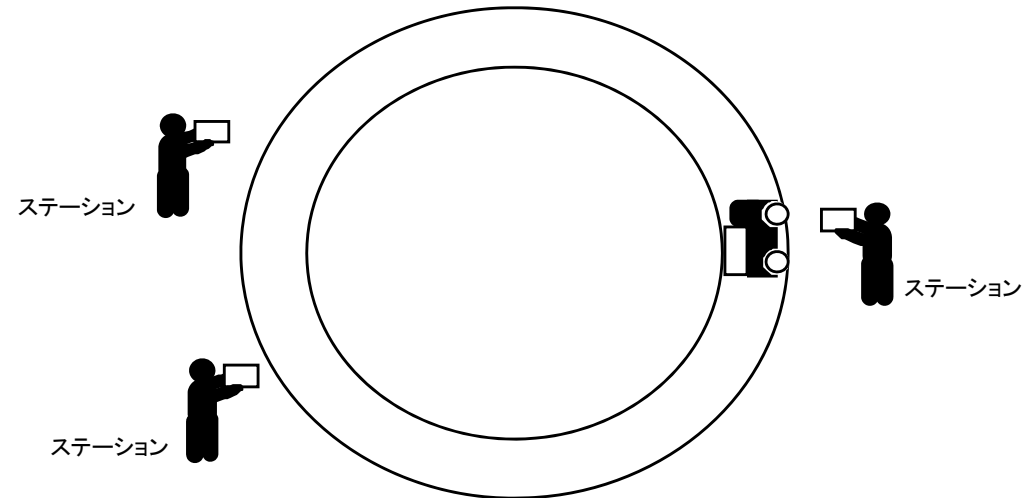
リアルタイム性を確保する代表的な技術

- マスター・スレーブ

- Token Passing →

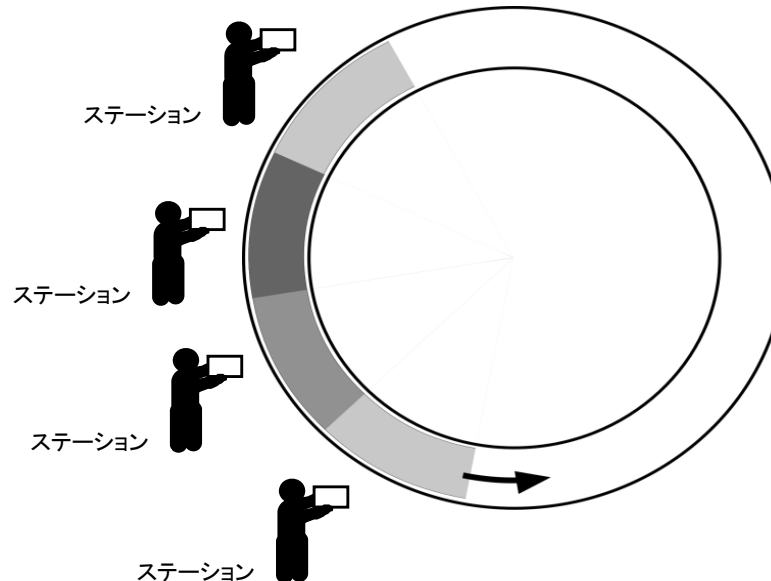
一方通行の道路を配送車が一台だけぐるぐる回っているようなもの。

通行手形(Token)を持ったステーションだけが荷物を発送できる



- フレーム多重 →

ネットワーク上のマスターによってそれぞれのステーション専用の荷台を持つ列車(フレーム)が運転されるようなもの。



- ブロードキャスト

リアルタイム性を確保するための設計項目

- **ステーション数と応答時間との関係を把握する**
- **必要なコマンドを短く早く**
 - × 複数のフィールドバス階層にまたがるすべてのデータを流す
 - その階層に必要なデータのみを流す
- **Ethernetベースのフィールドバスでは、バス負荷とリアルタイム性との関係に注意**
 - ランダムに発生する通信との混在では、通信量の増大によりリアルタイム性能への影響がありうる
 - 同期機能を持つフィールドバスを採用する、セグメント上に複数のプロトコルを混在させない などの考慮が重要

インターネット技術との接続

- **リアルタイムOS上のTCP/IPプロトコルスタック利用で気をつけるべきこと**
- **互換性**
 - インターネット標準(RFC)に合致しているが、最新のRFCを実装していない場合がある。そのため汎用OSとの通信でトラブルが発生することあり → 検証が重要
- **性能**
 - マイコンの資源(メモリ)制約から、IPパケットのウィンドウサイズが小さく設定される場合がある。この場合は通信の実効速度が落ちる。

インターネット技術との接続

● 接続の目的例

1. 情報系との統合

- 生産系ネットワークと企業基幹系(会計や販売管理)との接続

2. 最近の流れ:クラウド

- ローカル環境ではなく、インターネット(データセンター)上の×××を利用する
 - インターネットにあるサービスを利用(SaaS)
 - インターネットにあるアプリケーション環境を利用(PaaS)
 - インターネットにあるコンピュータハードウェアを利用(HaaS)
 - etc.

運用上のポイント

● セキュリティ

1. 運用時の最大ポイントは「人」

- 外部から持ち込むPCやUSBの接続を管理する
 - 安全と確認されたものだけを接続する
 - データの書き込み(持ち出し)をさせない
- アンチマルウェアデータのアップデートを行う
- OSアップデートを装置保守の一環として実施する
 - OSアップデートが稼動に影響しないことを事前に評価する
- ネットワーク上の異常トラフィックを監視する

2. 情報収集

- 汎用OSでないから、マイコン／PLCだから、と安心せず、
<http://www.ipa.go.jp/security/> などからマルウェアの動向などの情報収集を欠かさず行う

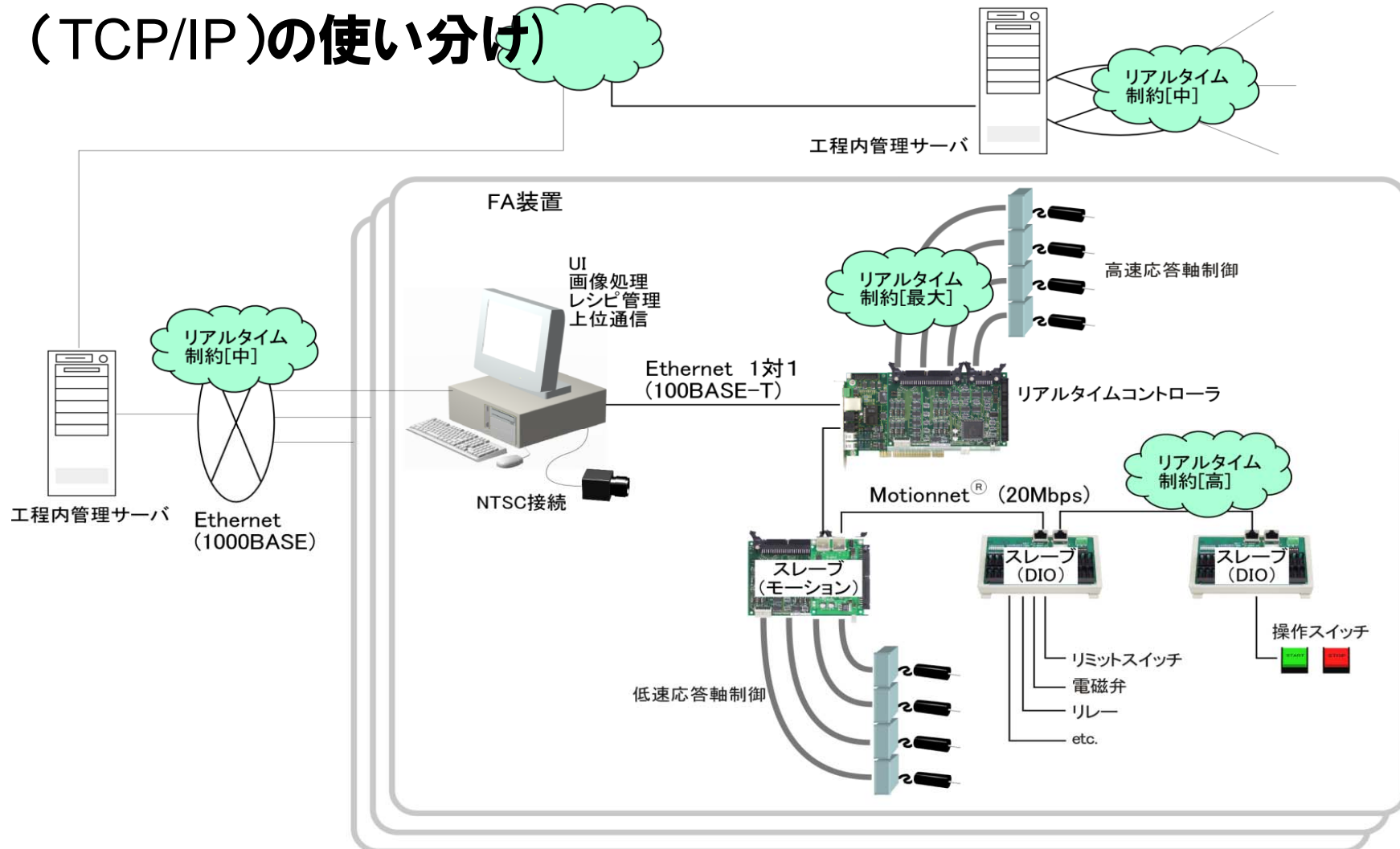
運用上のポイント

● トラフィックとバンド幅

- Ethernetでは、通信が集中するサーバなど(前記ケーススタディの「工程管理」へのネットワーク)が性能上のボトルネックになりうる
- 重要なネットワークセグメントについては、トラフィック品質のモニタを定期的に行うなどの運用処置を実施
 - 問題発生の際がある場合には、ネットワークインタフェースを増設+ネットワークセグメントを分離 などの処置を講じる


事例

● 装置内構成事例 (センサ・アクチュエータバスとEthernet (TCP/IP)の使い分け)



参考文献

- オートレビュー 2010年特別号(オープン化推進団体ガイド) オートレビュー社
- 工場通信ネットワーク入門 元吉伸一編、日刊工業新聞社
- 組込みシステムのセキュリティ取り組みガイド(2010年度改訂版) IPA/SEC
http://www.ipa.go.jp/security/fy20/reports/emb_app/index.html
- System Engineering with SysML/UML
Tim Weilkiens, The MK/OMG PRESS, ISBN 978-0-12-374274-2



本資料はCQ出版社でのセミナー「組み込みネットワーク&クラウド開発技術ワークショップ 技術セミナー」(2011/2/25)での講演資料をもとに加筆したものです。

本資料の著作権は株式会社テクノホロンが所有しています。

本資料の再配布を許諾いたします。ただし、以下を条件とします。

- 株式会社テクノホルンの著作権表記を残すものとします。