設備管理用フィールドネットワークと 稼動モニタの開発*

桑原昌博** 内藤 正** 二村好純** 山本修司** 橋本克司***

Development of Field Network and Equipment Management System
for Automobile Parts Production Line

Masahiro KUWABARA, Tadashi NAITOH, Yoshisumi FUTAMURA,
Shuji YAMAMOTO and Katsuji HASHIMOTO

The system called ANDON informs workers of malfunction of equipment, delay in operation and other abnormalities with display lanterns in automobile parts production line and it is widely utilized in TOYOTA. To make this system operate more effectively, a new network which handles many on-off signals that show the malfunction and other operating conditions of equipment in all areas of the plant is developed. The network can link terminals that send or receive signals, programable controllers and computers freely by using twisted paired cable which is 5 km long, and the signals for a maximum 4 000 items can be transmitted in one second. The developed network reduces the cost of ANDON system by 27% and is capable of facilitating addition and change of signals. Also, an equipment management system that links to this network is developed. This system is capable of monitoring the stopping time of the equipment by causes. This system is composed of interface which receives ANDON signals from the network, 8-bit microcomputer which detects the state of equipment and 16-bit personal computer which preserves the data. By the improvement of the production by utilizing this system, it become possible for us to increase the production volume.

Key words: field network, equipment management system, automobile parts production line

1. はじめに

管理監督者が工場が正常に働いているかどうかを目で見て管理するトヨタ生産方式を支えている道具として、異常の発生（設備の故障、作業の遅れなど）や呼び出し（運搬など）を表示灯で人に知らせるシステムを「アンドン」と呼び、当社ではこれを多数活用している。設備管理としてのその機能は、各設備からの故障信号などをアンドン制御盤に送り、ここで信号の組合せをした後、表示灯を点灯するものである。設備としては、これらの信号の伝送は、信号別の電線によって行っていた。しかし、このアンドンには次のような問題があった。

- (1) 一つのエンジン工場のアンドンを調べたところ、信号点数が3 000点と多く、布線距離も5

kmと長くて、使用する電線の延べ長さにして300 kmにも達していた。このため、工事期間が長くて、配線コストも高く、信号の追加・変更も大変であるという設備上の問題があった。

- (2) 機能上は、アンドンでは時々刻々の状況はわかるが、過去のデータの累積、例えば設備の1日当たりの停止件数と時間などがわからないため、改善活動は人の経験に頼るという問題があった。

アandonは、工場の全域にわたって多数のオン・オフ信号を扱っているシステムである。本開発は、このシステムの信号伝送に通信ネットワーク（フィールドネットワーク¹⁾）技術を活用してコストを低減するとともに、その情報を活用して改善活動を援助する機能（稼動モニタ）を追加することによって、前に述べた問題を解決することをねらったものである。以下、開発・導入・評価の順で説明する。

2. 開発

従来のアンドンシステムの構成を図1に示す。設備

* 原稿受付 昭和63年10月4日。昭和63年度精密工学会春季大会学術講演会（昭和63年3月17日）にて発表

** 正会員 トヨタ自動車(株)（豊田市トヨタ町1）

*** トヨタ自動車(株)

Fig. 1 Old architecture of ANDON system

Fig. 2 New architecture of ANDON system developed

の故障を知らせる信号など設備の制御盤からの出力信号や、加工すべきワークの有無を検知するリミットスイッチの信号などを、はり上に布線した信号別の電線によってアンドン制御盤へ送っていた。この制御盤内のプログラマブルコントローラ（PC）では、送られた信号を組み合わせて、異常信号、予報信号および作業中信号などに層別した後、再びそれらの信号をはり上に布線した信号別の電線によって表示灯に送ってランプを点灯させていた。図2に、本開発でねらったネットワーク化アンドンシステムの構成を示す。設備からの信号は、送信子局を介して一対の信号線によってアンドン制御盤へ送る。制御盤のPCへの入出力はインタフェースを介して行い、受信子局でPCからの信号を受けて表示灯のランプを点灯させる。また、ライン全体を管理する全体アンドンには、同じ信号線で各ラインの情報を送る。一方、これらのアンドン信号をインタフェースを介してコンピュータに取り込んで設備の1日当たりの停止件数などを把握する機能（稼動モニタ）を追加する。このようなネットワーク化アンドンシステムによって、設備コストを低減し、信号の追加・変更を容易にするとともに、稼動モニタによって改善活動を援助することをねらった。このねら

いを達成するためのネットワークに要求された機能は、

- (1) 信号線の長さは5 km以上可能なこと
- (2) 信号線は自由に分岐結合できること（分岐部に信号レベルの分配器や終端抵抗の取付けが不要なこと）
- (3) 1台の子局は8信号以上のオン・オフ信号を送信・受信できること
- (4) 500台以上の子局（信号数にして4000信号以上）が分散配置できること
- (5) 異常の発生の表示が遅れないようにするために、信号の伝送時間は1s以下であること
- (6) PCを複数結合（N:N通信）が可能なこと
- (7) コンピュータでネットワーク上の通信をモニタできること

である。この7つの必要機能について、市販のリモートI/Oについて検討した。

リモートI/Oとは、1台のPCと複数の子局を一対の信号線で結んで1:N通信をすることによって離れた場所からPCへの入出力を行うものであり、PCを複数結合（N:N通信）することはできない。このときPC間は別のネットワーク（PC間リンクと呼ば

Table 1 Comparison of access methods

Items	Multiple access methods		
	Cyclical time division	Token passing	CSMA/CD
Time of connection and transmission under the condition as ANDON use	1 s	>4 s (by calculation)	40 s (average)
Network monitor	Possible	←	←

Fig. 3 Principle of cyclical time division multiple access

れるもの)で結合することができるが、これでは信号線が分断されて、共通の信号線にリミットスイッチ、ランプやPCを自由に結合するという必要機能が満足されない。このため、新たな開発が必要となり、まずネットワークの開発を行い、次に稼動モニタの開発を行った。

2.1 ネットワークの開発

2.1.1 基本通信方式の決定と子局の開発

ネットワークの開発では、まず前に述べた必要機能を達成可能な基本通信方式の決定と子局の開発を行った。N:N通信が可能な基本通信方式である時分割サイクリック方式、トークンパッシング方式、CSMA/CD (Carrier Sensed Multiple Access with Collision Detection) の3方式について、伝送時間と通信モニタの検討をした^{2)~5)}。その結果、表1に示すように、距離5 kmにわたって、自由に分岐結合した信号線に、8信号単位の子局を、最大500台分散配置するという条件のもとでの伝送時間は、時分割サイクリック方式で1 s、トークンパッシング方式で試算の結果4 s以上、CSMA/CDで平均40 s要した。これより、基本通信方式は伝送時間1 sを満足する時分割サイクリック方式の多重伝送とした。この原理は、図3に示すように、各子局に固定した時間帯(チャンネルと呼ぶ)を割り当て、その時間帯をさらに分割して、例えばワーク有信号、設備故障信号と割り付けることによって一対の信号線で多数の信号を送るものである。開発した子局ではディップスイッチによりチャンネル設定を行えるようにした。

Fig. 4 PC interface developed

Fig. 5 Computer interface developed

2.1.2 PCをリンクするインタフェースの開発

ネットワークを介してPCへの入出力を行うインタフェースの開発では、従来通りアンドンの工事や保全が行えるように、PCの入出力カードを用いるときと全く同じラダー回路のみで通信できるようにした。つまり、PCがI/Oバスによって、入出力カードの信号を読み出し・書込みをするのと同じように、インタフェースに読み出し・書込みのアクセスのできるメモリを用意し、図4に示すように、インタフェースでPCアドレスに対応する信号を多重送受信するようにした。しかし、これだけでは各々独立して動くPC側と多重伝送側が同時にインタフェース内のメモリをアクセスすることが起こり得る。これを避けるために、インタフェースにPC用アクセスメモリと多重伝送用アクセスメモリの2つを用意して、多重伝送1スキャンに1回、第1スキャンの時間帯にPCがアクセスしてから次のアクセスまでの間隙で、このメモリを交互に切り替えるようにした。

2.1.3 コンピュータをリンクするインタフェースの開発

コンピュータインタフェースの開発では、稼動モニタにこれを用いてアンドン信号を取り込むことを考えて、リンクするシステム側に送信先の追加などの変更を何らすることなく信号を受信(モニタ)できるようにした。これには、時分割サイクリック方式の特徴を活かして、図5に示すように、インタフェースに多重伝送1スキャンの信号のオン・オフ状態を常時取り込

Fig. 6. Photographs of network devices developed

Fig. 7. Construction of equipment management system developed

んでにおいて、コンピュータからの要求に答えるようにした。

以上のように、リミットスイッチやランプおよびPC、コンピュータを共通の信号線に自由にリンクできるネットワークを開発することができた。図6に開発したネットワーク機器の外観を示す。

2.2 稼動モニタの開発

開発したコンピュータインタフェースを利用して、アンドン信号から各設備と組付けラインの稼動状況を把握する稼動モニタを開発した。

2.2.1 機能

稼動モニタに要求された機能は、設備の停止の検出とその原因の層別ができることおよびサイクルタイムの自動測定である。ここで停止原因の層別は、品質チェックによるもの、工具交換によるもの、設備異常、その他の異常、加工すべきワークなし、および後工程が引き取らないための加工中止を意味するフルワークによるものの6つであり、原因ごとに全設備の停止時間および件数のリストやワースト10グラフを出力できるようにした。

2.2.2 構成

稼動モニタの構成を図7に示す。多重伝送上のアンドン信号は、コンピュータインタフェースを介して8ビットマイクロコンピュータからなる前処理装置に取り込み、ここで設備の停止の検出とその原因の層別をするようにした。例えば、アンドン表示灯への工程異

Fig. 8. ANDON system arrangement installed in the engine plant and photographs

Table 2 Scale of the systems installed

Network length		5 km
ANDON system	Amount of signals	3 992 items
	Send terminals	303 units
	Receive terminals	143 units
	PC I/F	8 units
Equipment management system	Amount of signals that are monitored	1 180 items
	Computer I/F	2 units

常信号がオンになったとき、設備からの品質チェック予報信号がオンしていれば、品質チェックによる設備の停止とみなすものである。前処理装置で層別した停止データは、16ビットパーソナルコンピュータに取り込み、ここでデータの日付管理と1か月分の保存を行うとともに、CRT表示やプリンタへの出力をするようにした。また、加工設備の移設などによって、アンドン信号が変更されても容易に対応できるようにするために、このパーソナルコンピュータの画面上で信号と多重伝送チャンネルの対応表を入力して、これを前処理装置へダウンロードするようにした。

3. システムの導入

このように開発したネットワーク化アンドンシステムと稼動モニタを、エンジン工場に導入した例を図8に示す。このエンジン工場は、横200m、縦100mの建屋の中にシリンダブロックやシリンダヘッドなどの加工ラインと組付けラインがあり、設備台数は約180台である。システムの規模は表2に示すように、全信号数約4000点のアンドンを8台のPCで制御するとともに、全設備180台のモニタをしている。

Fig. 9 Utilization of the equipment management system in improvement activities

4. 評価

開発したシステムの評価をアンドンのネットワーク化と稼動モニタについて行った。

4.1 アンドンのネットワーク化の評価

アンドンのネットワーク化によって、設備コストの27%の低減と工事期間の2/3の短縮ができた。また、子局を分散配置したことによって、アンドン制御盤の大きさを従来の1/10に小型化することができた。さらに、信号の追加・変更が容易になり、アンドン設備の改造工数は従来の70%に低減され、当初のねらい通りの効果を確認した。

4.2 稼動モニタの評価

新たに機能追加した稼動モニタを利用した改善活動を通して、システムの評価を行った⁶⁾。

4.2.1 スタッフによる改善活動

まず、稼動モニタの有用性実証のため、スタッフによって改善活動を実施した。図9に示すように、問題把握をして原因追求を行い、対策、評価をするという改善のサイクルの中で、問題把握と評価に、稼動モニタのデータを活用した。

1) ネック工程の把握による改善

稼動時間当たりの生産量を向上するねらいで、ネック工程を見つけ出しの改善を行った。図10にシリンダブロックラインの構成図を示す。ワークは素形材から加工されて完成品となるが、このラインには、素形材のストックコンベア、5か所の中間ストックコンベア、および完成品ストックコンベアの計7か所のストックコンベアがあり、そのストックコンベア間ごとに「ゾーン」として工程を考えると6つのゾーンに分

Fig. 10 Flow of the cylinder block production line

Fig. 11 Comparison of movable time

Fig. 12 Causes of stop of machine F

けられる。6つのゾーンの最終設備 A, B, C, D, E および F の可動率（停止時間からフルワークによる停止を除外したもの）を図11に示す。ここで第6ゾーンの最終設備 F の可動率が最も低い。その可動率を低くしている要因を図12(a)に示す。可動率を低くしている要因は、設備 F のワークなし、つまり前工程の異常と設備 F 自体の停止である。このワークなしの要因をさらに調査した結果を図12(b)に示す。可動率を低くしている要因は、寄与率の大きいものから設備 G の停止、設備 F、設備 H、そして前ゾーンの異常の順であり、ネック工程は設備 G である。これより現地にて設備 G の停止原因を追求し、対策を実施した結果、時間当たりの生産量を向上させることができた。

従来これらの調査は、アンドンの表示灯をビデオカメラで録画して解析していたが、稼動モニタによりデータの出力のみで問題把握と評価が行えるようになり、従来の1/15の調査工数で改善が行えるようになった。

2) チョコ停（技能員の簡単な処置によって回復する短時間の設備停止をいう）の低減

全自動ラインの工場技能員の主な作業は、品質チェック、工具交換およびチョコ停処置である。この中で、チョコ停処置の作業の割合が比較的多く、この標準外作業は極力少なくしたい。このねらいで、稼動モニタの「停止設備ワースト 10 グラフ」を活用して停止件数の多い設備から順次原因追求と対策を行った。その結果、具体例として設備のモータ交換やワークの有無を検知するリミットスイッチの不良対策などを行って、シリンダヘッドラインの停止件数を半減することができた。

4.2.2 稼動モニタの活用の定着

スタッフによって稼動モニタの効果を実証した後、工場技能員への説明会を行って活用を定着させた。

1) 工場技能員による活用

現在、全ラインの工場技能員によってシステムが活用されており、日々の改善活動の道具のみならず、モラルの向上（正確なデータ把握による問題意識の向上とコンピュータなどの FA 技術に対する興味の促進）にもつながっている。

2) データの有効活用

今後、設備の予防保全へとつなげていくことを考えて、設備管理部署へのデータの定期的回覧や、次期設備計画へのフィードバックを行うための設備計画部署へのデータの定期的回覧を行っている。

5. 結 論

(1) アンドンのように機械工場の全域にわたって、多数のオン・オフ信号を扱っているシステムに適した多重伝送ネットワークを開発した。これによ

り、設備コストの低減と工事期間を短縮するとともに、信号の追加・変更を容易にすることができた。

(2) このネットワークにリンクし、アンドン信号をリアルタイムに処理して、設備の稼動状況やサイクルタイムを把握する稼動モニタを開発した。これは設備の停止時間と件数を、品質チェックによるもの、工具交換によるもの、設備故障、その他の異常、加工すべきワークなしおよび後工程が引き取らないための加工の中止を意味するフルワークによるものの 6 つに層別してモニタできる。開発したシステムを工場技能員が改善活動に利用して効果を上げた。

謝 辞

本開発の遂行に当たりまして、終始、御指導いただきました理化学研究所佐田登志夫理事に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 国際ロボット・FA 技術センター：工場自動化相互接続システム (FAIS) 研究開発について、国際ロボット・FA 技術センター (1988.6)。
- 2) カーク C. E. ギー (越川哲夫訳)：ローカルエリアネットワーク、啓学出版 (1984)。
- 3) 電気通信協会：データ伝送の基礎知識、オーム社 (1970)。
- 4) デイビッド C. フリント (松下 温訳)：ローカルエリアネットワーク入門、近代科学社 (1984)。
- 5) 塚本享治：ローカルエリアネットワークの基礎、精密工学会誌, **53**, 9 (1987) 1343。
- 6) 中根甚一郎：CIM 開発の課題と方向、工場管理, **33**, 8 (1987) 22。

●——精密工学会刊行図書のご案内

精機学会創立 50 周年記念出版委員会編「精密機械設計便覧」

本書は、設計の教育用としても実務用としても有用なことをねらいとして編集されています。そのために、設計の基礎知識や、精密機械の機能面からの設計手法の体系化を図り、製造技術との関連にも配慮しつつ、各企業から提供いただいた実際の生きた多数の事例を収集、整理しています。特に個々の設計事例について当該設計者のコメントを併載していますので、具体的な設計指針を得ることができます。

内 容 第 1 章 精密機械設計学 第 4 章 精密機械機能要素の設計事例
第 2 章 精密機械部品の設計 第 5 章 精密機械および機械システムの設計
第 3 章 精密機械要素の設計

A 4 判, 724 ページ+資料編, 定価 17 000 円, 会員価格 13 600 円, 送料 1 000 円