

機械式駐車場 IPS の遠隔故障診断システム

Remote Diagnosis for Automated Parking Lots

技 術 本 部 天 野 信 雄^{*1} 渡 辺 英 行^{*1}

横 浜 製 作 所 小 村 卓 郎^{*2} 中 山 勝 仁^{*3}

菱日エンジニアリング株式会社 野 田 整 一^{*4}

機械式駐車場では、万一の故障発生時には、迅速な対応・復旧が不可欠である。当社においても、従来より 24 時間体制で対応してきた。開発した故障診断システムは、駐車場係員の手を煩わせずに故障発生を自動通報し、保守担当者の携帯電話、FAX へ対応要請を速やかに通知する。また、駐車場設備を制御しているシーケンサのプログラムを解析して得た故障診断ロジックにより、点検・復旧箇所を絞り込み、現地へ作業指示を送る。本システムの開発により、今まで以上に迅速な復旧作業が行えるとともに、故障履歴の一元管理による予防保全などサービスの向上が図れた。

In an emergency in an automated parking lot, swift response and restoration are most important. In our company, there are many systems for emergency for two days and nights. The system we developed automatically warns maintenance workers without parking workers complicated procedures, and in no time phone and fax the notices how to do. The system also sends parking workers back instructions and points needing inspection and restoration. The number of inspection and restoration points is narrowed down by diagnosis logic provided by analysis of programs that control automated parking lots. Our new system make it possible to respond more quickly to emergencies and more totally manage histories of emergencies, and to improve preventive maintenance.

1. は じ め に

IT (Information Technology) 適用の一環として、遠隔監視によるアフタサービスの向上が社内外で進められている。当社で納めている機械式駐車場では、万一の故障発生時には迅速な対応・復旧が求められている。それに対応するため、駐車場管理コンピュータから監視センタへ故障情報を自動的に電子メールで知らせる故障診断システムを開発した。

この故障診断システムでは、現地からの故障情報を基に故障を検知したセンサを特定でき、保守担当者が点検すべき箇所を絞り込むことにより復旧作業の短縮化を実現した。診断ロジックは、シーケンサのプログラムを解析して求めた故障検出条件のリストを用い、故障発生時のセンサの ON/OFF 状態と比較することにより行う方式を開発した。

また、診断システムは社内イントラネットシステムと接続し、設計担当者が机上からアクセスできる故障履歴データベースを構築した。

これにより、各駐車場設備の故障発生・復旧状況を確認でき、原因・対処方法などが適切に行えるため、予防保全にも役立てている。本報では、開発した故障診断システムの概要及び診断方法に関して述べる。

2. 本システムの特徴

(1) 自動通知機能

従来、故障発生時には電話、FAX を用いて、顧客から受付窓口、保守担当者へと連絡を取合い対応してきた。しかし、人が介在することによる時間的なロス、得られる情報

が限られるなどの課題があった。

本システムでは、現地から監視センタ、監視センタから各担当者へと、顧客の手を煩わせずに迅速に自動通知することができ、通知に電子メールを利用したことにより、現地ごとに設定された複数箇所（担当者）へ同時並行して通知できるため、連絡時間の短縮が図れた。また、関連機器の動作状態やセンサの ON/OFF 状態など、システムの内部状態も添付し、現地での駐車場稼働状態の詳細も分かるようにした。

(2) 故障診断機能

駐車場機械が故障検出するのは、機器を制御しているシーケンサが、センサ入力や内部状態等により、プログラム中のロジックで判断をしているためである。“ドアが開いたためセンサが ON になった”など、真の原因を特定することは困難であるが、故障の要因となったセンサ（入力）を特定することはできるため、逆に要因となったセンサ（入力）から“ドア開く”“位置ずれ”などの事象を推定している。

(3) イン트라ネットとの連携

故障診断システムを社内イントラネットシステム (Lotus Notes) と接続した。故障発生時には、設計、アフタサービスの担当者各人へ電子メールで通知が届くので、迅速な対応をとることができる。また、復旧後には原因、処置方法を履歴データベースに登録する。これにより、各現地での故障発生・対応・復旧状況を把握することができ、未発生の現地への事前対応によるトラブル未然防止にも役立っている。

*1 横浜研究所制御・応用物理研究室

*3 鉄構技術部電気制御設計課

*2 鉄構技術部電気制御設計課長

*4 システム開発部電算システムグループ

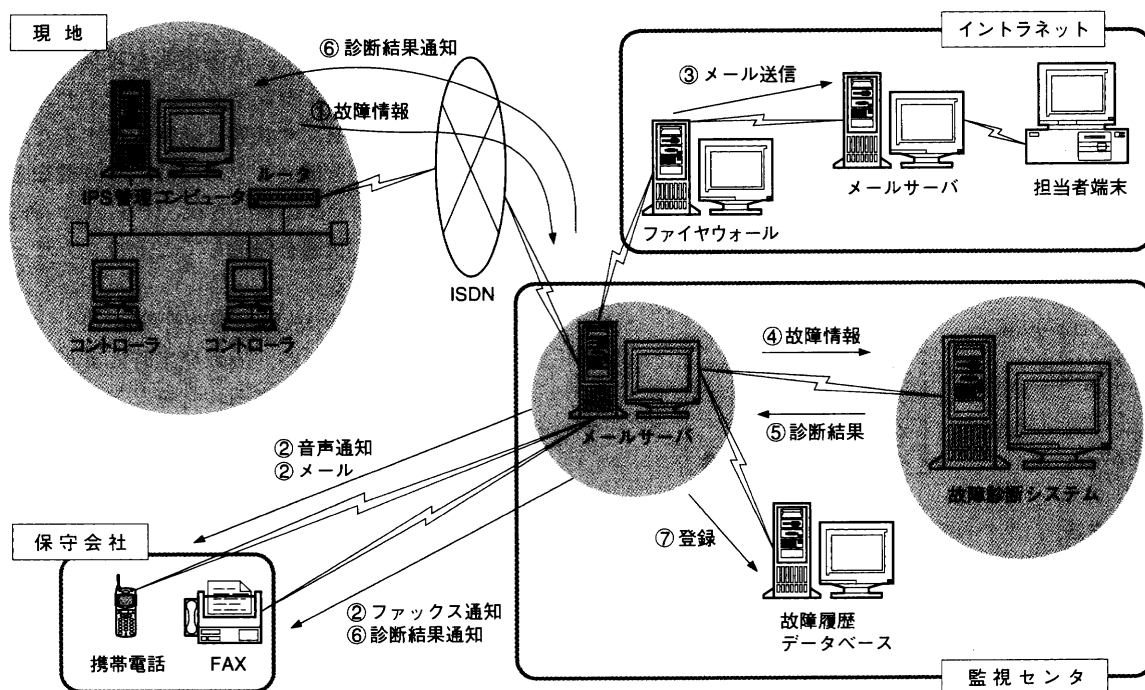


図1 故障診断システム構成
System configuration

システム構成と情報の流れを示す。

3. 故障診断システム

3.1 遠隔監視・通報

図1に本システムの構成を示す。機械式駐車場IPS (Integrated Parking System) は、複数の機械設備によって構成されており、ネットワークに接続された管理コンピュータで統合管理している。故障発生通知は、管理コンピュータより電子メールとして、公衆回線 (ISDN, 電話等)、インターネットを通じて監視センタのメールサーバへ送られる (①: 図1中データの流れの番号に対応, 以下同様)。メールサーバは、現地ごとに設定された保守会社連絡先 (②), 社内保守担当者 (③) へ故障発生を通知する。連絡を受けた担当者は現地へ急行する。保守会社へは、FAX, 電話への音声通知, 携帯電話, PC への電子メールが選択でき、必要に応じて複数箇所、複数方法が設定できる。一方、故障診断システムへも現地故障情報が通知され (④), 後述する診断ロジックにより要因推定を行う。診断結果は折返しメールサーバへ戻され (⑤), 現地及び保守会社へ通知される (⑥)。

3.2 保守担当者への通報

故障発生とともに、保守会社の担当者を現地へ急行させる必要がある。故障診断結果が出て内容確認されるまで、数分ではあるが時間が掛かるため、故障発生通知と診断結果は分けて通知している。故障発生通知を第一報として受けた担当者は、現地へ向かうことになる。診断結果は、結果が出てからいったん社内で、設計又はアフタサービスの担当者が内容を確認する。必要であれば、コメントを添えて現地担当者へ通知する。このため、タイムリーに処置できるように、特定の場所に設置された専用端末とはせずに、各自の机上パソコンからアクセスできるようにしてある。しかし、離席時や夜

間、休日など即座に対応できない場合は、設定された一定時間を過ぎると自動的に現地担当者へ通知している。また、複数の担当者のだけでも、確認作業ができるようにしている。これにより、遅くとも担当者が現地へ到着したときには、診断結果を受取れ、すぐに復旧作業に取掛かれる。

保守担当者は、受取った診断結果を基に点検箇所、手順を決める。予備部品、特殊工具が必要と予想される場合は、車から持って出るなど事前準備をして現場に入ることができる。持合せがない場合は、連絡して手配することもできる。このような面においても、復旧時間短縮に効果がある。

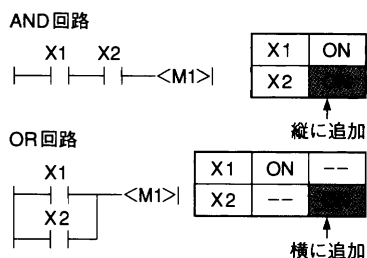
4. 故障診断方法

機器を制御しているシーケンサは、ラダー図と呼ばれる記述言語でプログラムが書かれている。シーケンサへの入力と出力を表す記号の組合せで記述され、一般に回路と呼んでいる。図2にラダー図の基本である、AND 回路と OR 回路を示す。AND 回路は、2つの条件 (入力 X1, X2) が同時に ON した場合に成立 (出力 M1 が ON) する。OR 回路は、どちらか一方の条件が ON すれば成立する。これら、AND, OR 回路を組合せることによってロジックを組んでいる。

シーケンサのプログラムで故障発生とは、故障に対応する出力が ON することである。出力が ON するための入力の ON/OFF の組合せは複数あるが、その中で故障発生時のセンサ状態と一致する特定の条件が、故障検出部分である。よって、その条件の組合せに含まれるセンサの中に、故障要因となった入力が含まれていると考えられる。

このような考えに基づき、本システムではシーケンサプログラム (ラダー図) を解析して条件リストを作成するラダー解析ツールと、現地情報と条件リストから要因を推定する診

●解析方法



●解析例

シーケンサプログラム例

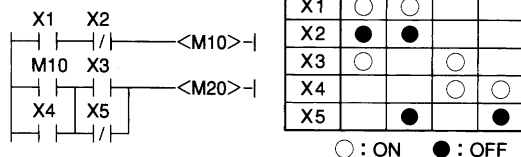


図2 解析方法 ラダー図の解析方法と解析例を示す。
Method of analyzed PLC program

断ロジックを開発した。

4.1 ラダー図の解析

解析アルゴリズムについて説明する。便宜上、解析結果を表形式で表し、行に条件（入力）項目、列に条件数を取って説明する。先に述べたように、ラダー図の基本はAND回路とOR回路である（図2参照）。入力X1に対してAND回路の場合は、同一列（縦方向）に入力X2の条件項目を追加する。OR回路の場合は、列を追加（横方向）して入力X2の条件項目を追加する。

実際の回路は、ANDとORが多数組合されているが、前述のANDとORのロジックで1ステップごとに解析して条件表を作成した。図2の解析例では、出力M20が成立する条件を、M20から一つ一つさかのぼって解析した結果である。条件項目はX1～X5までの5つで、条件数は4通りとなる。ON/OFF表示がなくて無印の所は、その状態に無関係で成立することを示している。

開発したラダー解析ツールによって、IPSの実機シーケンサプログラムを解析した例を図3に示す。

条件	1	2	3	4	5
検出INV 正転	ON	ON	ON	ON	ON
検出INV 逆転	OFF	ON	OFF	ON	ON
検出INV 停止	ON	ON	ON	ON	ON
検出INV 周波数検出	ON	ON	ON	ON	ON
[D] 検出INV周波数検出(検出周波数)	ON	ON	ON	ON	ON
[D] 検出INV周波数検出(検出周波数)	ON	ON	ON	ON	ON
[D] 検出INV周波数検出(検出周波数)	ON	ON	ON	ON	ON
[D] 検出INV周波数検出(検出周波数)	ON	ON	ON	ON	ON

1934の解析が完了しました。

図3 解析結果 開発した解析ツールにより実機ソフトを解析した例を示す。
Result of analyzed PLC program

4.2 故障発生情報の収集

故障診断をするために、故障情報を収集する必要がある。先に説明したとおり、センサなどシーケンサの入力状態が重要な情報である。センサ状態は随時変化するため、ノイズのような瞬時の変化を捕えるためには、故障検知と同一タイミングで状態を保持する必要がある。IPSでは、各シーケンサで故障検知と同時に状態を保持して、上位コンピュータへ通知するようにしている。

IPSでは、各機器の故障情報が管理コンピュータに集まってくる。センサ情報のほか、故障発生時に実行していた動作コマンド、現在位置、搬送車両の有無などの情報も解析には有効である。現地名、機器名、発生日時、エラーコードなどと併せて故障情報をまとめ、管理コンピュータから送信している。

4.3 診断データベース

診断システム構築に当り、必要な各種情報をデータベース化した。データベースの構築に当り、ツールとしてOracleを使用し、高速な検索、遠隔からのデータメンテナンス、システム拡張時のはん用性を持たせた。以下に作成したデータベースの例を示す。

- 現地情報：機器構成、顧客情報、保守担当者など
- 機器情報：設置センサ種、制御プログラムバージョン
- 故障条件リスト：ラダー解析ツールで作成
- 復旧指示：要因ごとの復旧方法
- 履歴情報：発生回数（現地ごと、機器ごと、エラーごと）
- 担当者情報：電話番号、メールアドレス、連絡手段

この中で、どのような診断結果があるのか説明する。表1は、診断結果にかかわる復旧指示データベースの一部である。例えば、はみ出し(右)センサで検知した場合でも、“センサの故障”“配線不良”“ドアが開いた”などの要因が挙げられており、復旧者はこれを見ながら一つ一つ確認することで対応ができる。

これら、データは頻繁に変るものではないが、復旧指示、履歴情報などは定期的にメンテナンスして診断精度の向上につなげていく。

4.4 診断ロジック

図4に診断の流れを示す。図右側に示す故障条件データ作成の手順(a), (b), (c)を、診断の前に行う必要がある。各現地より機器ごとにシーケンサソフトのバックアップを取り作成を行う。これは、現地プログラムの修正の度に実施する必要がある。

故障発生すると、現地より送られてくる現地故障情報を分類し①、現地名、機器名より故障条件データベースを検索し該当する機器の故障条件リストを抽出する②、③。得られた条件リストから、さらにエラーコード、センサのON/OFF情報を基に成立する条件を選び、故障原因となる可能性のあるデバイス（センサ等）とその状態（ON/OFF）を抽出する④、⑤。実行中のコマンド〔動作内容〕から、無関係なデバイスを考慮してさらにデバイスを絞る⑥。得られたデバイスに対応する復旧指示を、復旧指示データベースより取出す⑦。診断結果として、故障検知の原因となったデバイス

表1 故障要因と復旧指示例
Example of cause and repair instruction

故障要因	デバイス番号	ON OFF	処置方法
台車内在車センサ故障	X 246	ON	台車内在車センサの作動を確認し、センサ不良の場合はセンサを交換して下さい
右格納庫車有センサ故障	X 250	OFF	右格納庫車有(前)センサの作動を確認し、センサ不良の場合はセンサを交換して下さい
左格納庫車有センサ故障	X 252	OFF	左格納庫車有(前)センサの作動を確認し、センサ不良の場合はセンサを交換して下さい
はみ出し(右)センサ故障	X 240	ON	はみ出し(右)センサの作動を確認し、センサ不良の場合はセンサを交換して下さい
はみ出し(左)センサ故障	X 241	ON	はみ出し(左)センサの作動を確認し、センサ不良の場合はセンサを交換して下さい
右停止(1)センサ故障	X 080	OFF	右停止(1)センサの作動を確認し、センサ不良の場合はセンサを交換して下さい
右停止(2)センサ故障	X 082	OFF	右停止(2)センサの作動を確認し、センサ不良の場合はセンサを交換して下さい
横行時右番地ずれ	X 080	OFF	右番地一致を確認し、ドグ板、停止位置を調整して下さい
横行時右番地ずれ	X 082	OFF	右番地一致を確認し、ドグ板、停止位置を調整して下さい
配線故障	X 240	ON	はみ出し(右)センサとシーケンサ間の接続・導通を確認し、不良の場合は交換して下さい
配線故障	X 241	ON	はみ出し(左)センサとシーケンサ間の接続・導通を確認し、不良の場合は交換して下さい
安全柵の変形	X 250	ON	安全柵が右格納庫車有(前)センサに干渉していないか確認し、安全柵変形を補修して下さい
車ドア (開)	X 240	ON	ドアが開いてはみ出しセンサ右を遮光しているか確認し、開いていたらドアを閉めて下さい
車ドア (開)	X 241	ON	ドアが開いてはみ出しセンサ左を遮光しているか確認し、開いていたらドアを閉めて下さい
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮

リストと各デバイスに対する点検・復旧指示内容が得られる。複数の要因がある場合には、過去の発生状況から、頻繁に発生するものほど上位に表示される。

開発した診断ロジックにより求めた診断結果を図5に示す。診断に要する時間は、データ受信から診断結果の返信までで3～5sである。今後対応現地が増加してデータ数が増加しても、1min以下で十分診断できる。図5下方には、復旧後に原因を入力する欄が設けられている。入力、は、リストアップされた故障要因から選択するようになっている。また、想定外の原因であった場合には、コメント欄に記述してもらい、

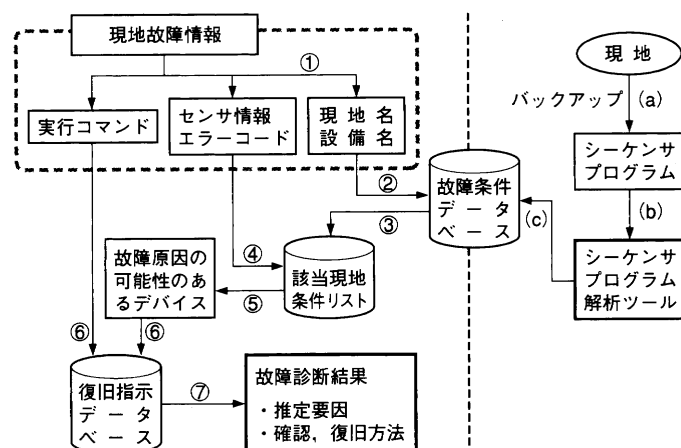


図4 故障診断フロー 故障情報から診断結果を導く手順を示す。
Flow chart of diagnosis system

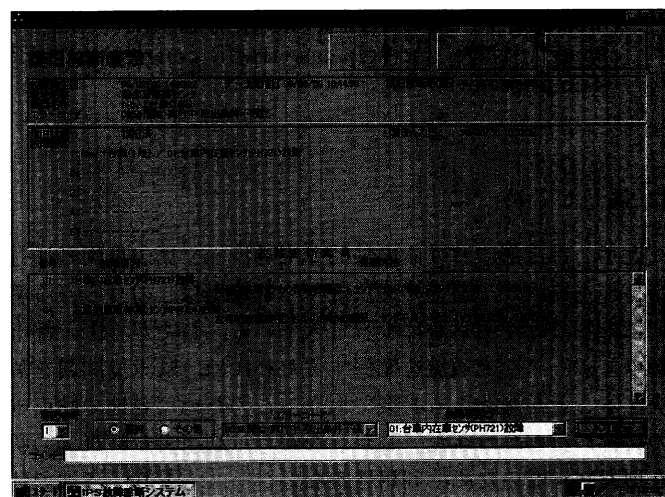


図5 故障診断結果 開発した診断ツールによる診断結果例（データはサンプル）を示す。
Example of diagnostic result

新たな要因項目として追加できるようになっている。これら復旧後のデータ入力作業も、各自の机上からアクセスして入力することで、設計者の日常業務の一環として実施できる。

5. ま と め

当社にて開発した“遠隔故障診断システム”に関して、概要を報告した。本診断手法はFTA (Fault Tree Analysis) 手法の一種であり、ラダー図の解析で故障条件リスト [故障木] を生成し、センサ状態から故障木で評価し診断している。本システムの導入により、故障復旧への迅速な対応が図れることはもとより、担当者の作業が効率化され、サービスの向上につながる。現在、IPS 実機にて試験運用を行っており、その結果を踏まえて診断精度の向上、使い勝手など改良を進めていく。当社では、大規模機械式駐車場 IPS を既に 26 現地（約 5800 台分）納め稼働している。今後、様々な遠隔情報サービスを計画しているが、その一つの柱として本システムを適用していく予定である。