

論文 3Dモデルを活用した橋梁維持管理システムの開発と検査作業の効率化検証

村田 眞司¹・曾我 寿孝²・高山 宜久³
中山 忠雅⁴・清水 智弘⁵・内田 修⁶・中澤 明寛⁷・高橋 康将⁸

¹正会員 西日本旅客鉄道株式会社（〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田二丁目4-24）
E-mail:masashi-murata@westjr.co.jp

²正会員 西日本旅客鉄道株式会社（〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田二丁目4-24）
E-mail:toshitaka-soga@westjr.co.jp

³正会員 西日本旅客鉄道株式会社（〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田二丁目4-24）
E-mail:yoshihisa-takayama@westjr.co.jp

⁴非会員 ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社（〒532-0011 大阪府大阪市淀川区西中島五丁目4-20）
E-mail:nakayama@jrnc.co.jp

⁵正会員 ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社（〒532-0011 大阪府大阪市淀川区西中島五丁目4-20）
E-mail:shimizu.tomo@jrnc.co.jp

⁶非会員 アジア航測株式会社（〒530-6029 大阪府大阪市北区天満橋一丁目8-30）
E-mail:os.uchida@ajiko.co.jp

⁷正会員 アジア航測株式会社（〒530-6029 大阪府大阪市北区天満橋一丁目8-30）
E-mail: aki.nakazawa@ajiko.co.jp

⁸正会員 アジア航測株式会社（〒530-6029 大阪府大阪市北区天満橋一丁目8-30）
E-mail:ysm.takahashi@ajiko.co.jp

JR西日本では、3Dモデルを情報共有・管理の基図として、橋梁の検査記録の品質と効率を高め、維持管理の全体最適化に資するシステムを開発した。本システムは、デジタル写真測量技術・空間情報技術を応用し、現場で撮影してきた写真上で判読した変状や補修箇所の図形を3Dモデルに反映し、その位置や大きさを正確に記録することができる。現在は現場の全般検査において試行的に導入している。本稿では、このシステムを用いて検査作業を行った場合の作業時間について計測し、評価を行ったのでこれを報告する。

Key Words : 3D model, preventive maintenance, inspection, deterioration, repair

1. はじめに

昨今、国内の構造物の多くが建設からの歳月を経て老朽化の進展が起こっており、それに伴い検査を含めた維持管理の重要性が指摘されている。鉄道橋を含む橋梁構造物についても例外ではなく、経年変化に対してより高度に管理するために変状の進展を把握する必要がある。

一方、日本では少子高齢化に伴い今後の労働人口の減少が予測されており、検査を含め維持管理を行う技術者の確保が課題となっている。このため検査作業において、

より少ない人数で多くの構造物の維持管理を効率的に行う仕組みを確立し、将来に備えなければならない。

JR西日本では、橋梁を立体的にポリゴンで作成した3Dモデルを共通管理図（以下、基図という）として、変状の発生・解消履歴の記録を行うことで、①検査・計画・補修工事の各業務の横断的な効率化、②計画的な維持管理に基づくメンテナンスサイクルの全体最適化（図-1）に資する橋梁維持管理システム（以下、本システムという）を開発した¹⁾。本システムでは、検査や工事で撮影した写真と3Dモデルに対して対応点を指示するこ

とで、3Dモデルと写真の位置関係を特定することができる。これにより、写真上で変状箇所を図形でなぞると、その結果が3Dモデルに正確に反映され、数量（長さや面積）を自動的に算出することができる（図-2）。また、同様の手順によって補修箇所を記録すれば、維持管理情報を包括的に管理することが可能となる。

本システムは、JR西日本管内の路線で実際のコンクリート橋梁において、第一ステップとして全般検査で試行的に導入し、写真から求めた正確な位置と大きさで初期の変状の管理を進めている。

新規の作業手法の導入にあたっては、作業手順の変更により実際の作業者の負担が増えることが懸念される。今回は実用化に向けて、本システムの機能のうち、検査工程での利用時の効率化について計測し、取りまとめたので報告する。

2. 開発システムの概要

本システムには、主に①正確な3Dモデルを構築する機能、②撮影写真を3D空間上に配置し、変状・補修箇所の位置や形状を特定する機能、③座標情報に基づき変状・補修数量の正確な把握と時系列管理を行う機能の3つの機能を有する。本システムは、JR西日本管内の路線において試行しながら、現場の作業者などにヒアリングを行った上で改良を重ね、機能や操作性を改善してきた。

以下に主な機能について説明する。

(1) 橋梁3Dモデルの構築

この機能は、コンクリート橋梁を対象として主要な構造種別のモデルをあらかじめ登録し、竣工図などを参照して部材ごとの寸法情報を入力することで、半自動的に3Dモデルを構築する機能である。なお今回の効率化の検証では3Dモデルを作成した状態での作業量を検証しているため、この機能は今回の検証の対象外である。

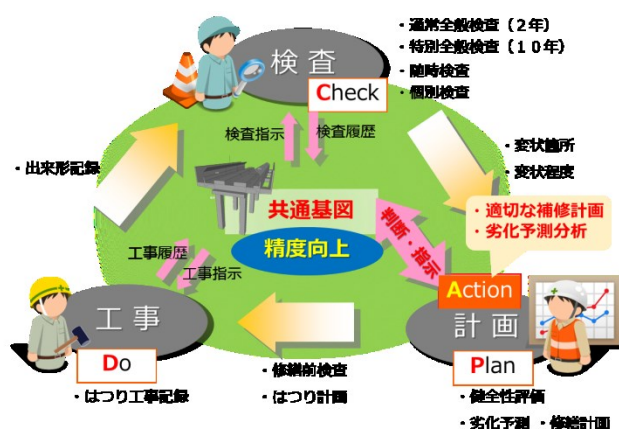


図-1 メンテナンスサイクルの全体最適化

(2) 写真管理

この機能は、3D空間上に撮影写真を正確に配置することで、構造物と撮影写真の位置関係を視覚的に把握できる仕組みである。3Dモデルと写真の対応付けには簡易配置と精密配置、さらに二時期写真の対応付け機能があり、後の変状管理においても位置を対応付けた写真をそのまま用いることができる。

簡易配置は、撮影写真と同じ向きになるように3Dモデルを回転・移動・拡大縮小することで、対応点を取得することなく対応付けを行い、大まかな位置で写真を配置するものである。精密配置は、3Dモデルと撮影写真の両者に対し、4点以上の対応点を指示することで対応付けを行うものである。主に現場作業ではタブレット端末で簡易配置しておき、事務所作業でパソコンを使い精密配置を行うことを想定している。二時期写真の対応付け機能は、登録したい写真の位置に、すでに前回の検査などで3Dモデルと対応付けされている写真がある箇所において、登録したい写真と位置対応付け済み写真の対応付けを画像処理により自動で行い、これにより3Dモデルへ対応付ける機能である²⁾。この二時期の写真同士の対応付けは、特徴量マッチングという画像処理の手法で部材の四隅などの特徴的な点を多数抽出し、その中から対応付けに適した対応点を4点または8点抽出し、この点を画像と3Dモデルとの対応付けの点とし精密配置を行っている。

(3) 変状記録・補修計画

3D空間上に配置された写真には、2(2)で示したように撮影位置、方位、角度が算出されている（図-3）。そのため、写真上の点（図中の点p）が示す3D空間上の視線ベクトルが一義的に決定される。その視線ベクトルと

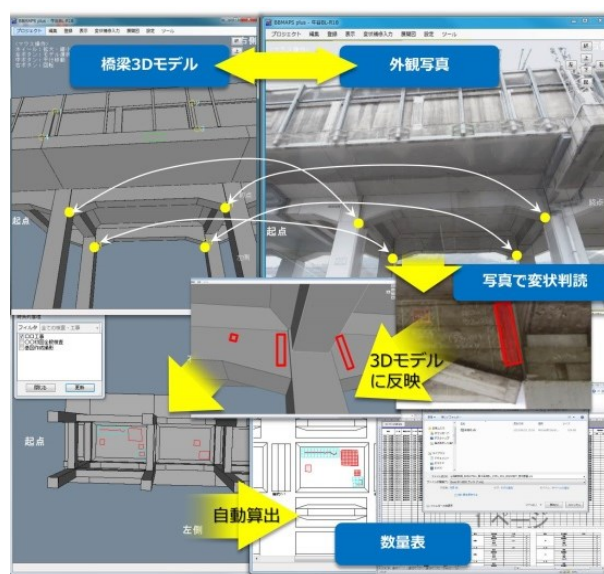


図-2 システム概要

3Dモデルが交差する面上の点（点P）を計算することで、変状・補修図形のXYZ座標が計算される。この計算を行うことで、写真上で変状・補修箇所を図形でなぞると、その結果が3Dモデルに正確に反映され、数量（長さや面積）の自動的な算出が可能となる。

個別の変状・補修箇所の図形は、形状とともにIDと変状の内容を属性情報として持つデータベースとして一元管理されるため、経年的な変状の進行や工事による補修履歴を把握することができる。

3. 従来法と本システム利用の維持管理手法比較

本システムの開発の目的は、検査－計画－工事という維持管理の流れの中で、統一した基図を用いることによって変状を定量的に把握し、効率的に質の高い管理を行えるようにすることである。しかしながら、作業の効率が落ちてしまうと実運用は難しくなる。このため、従来の検査手法（以下、従来法という）と、本システムを用いた手法の作業時間の比較を行った。

従来法と、本システムを用いた作業の手法を図-4、図-5に示す。JR西日本での高架橋の検査には主に通常全般検査と特別全般検査とがあるが、主な作業手順は変わらないため区別せずにフローに示している。通常全般検査は2年周期で行われる検査で、主に桁下からの目視で外

観検査を行うものであり、特別全般検査は10年または20年に一度行う検査で、はしごや高所作業車を用いて近接目視にて検査を行うものである。

従来法（図-4）では、現地作業（以下、外業という）では(1)展開図の紙図面などの紙資料を持っていき、(2)現場で変状を記載する。その後、室内作業（以下、内業という）で、(3)現場で記載した内容を帳票に整理し、(4)変状の形状や内容をCADやExcelを利用した図面に清書し、(5)変状の面積・延長などの集計を行い、(6)高架橋検査・工事などを管理する別システム(以下、橋梁保守管理システムという)に手入力で変状の内容を登録する、という作業を行っている。なお、橋梁保守管理システムはJR西日本管内の全橋梁の設備諸元や検査・工事計画の策定支援、検査、補修履歴を管理しているシステムである。

一方、本システムを用いた手法（図-5）では、外業において(1)タブレットPC等の本システムおよび基図のデータを搭載した機材を持ち込み、(2)変状の箇所の写真撮影を行い、写真の概略の位置を本システム上に入力する。内業ではパソコン上で、(3)写真の3Dモデルへの位置合わせを行い、(4)その写真上の変状をなぞることにより基図である橋梁の3Dモデルに変状を入力する。その後、(5)自動的に変状の面積・延長の集計が行われ、(6)橋梁保守管理システムへの登録も再度入力することなく入力した変状の内容を利用して登録を行う。

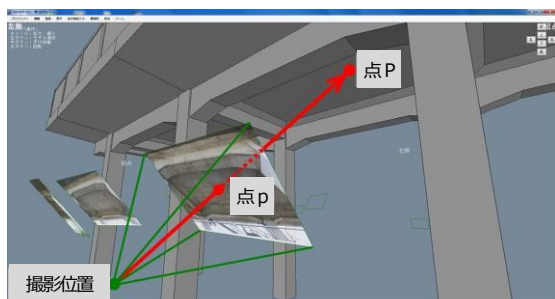


図-3 3Dモデルと写真の対応関係

4. 時間削減効果の検証

(1) 実際の橋梁での検査作業時間比較

作業時間の効率化の検証は、従来法と本システムを用いた検査方法の時間を、通常全般検査・特別全般検査に同行して計測することで行った。

検証箇所はコンクリート高架橋の通常全般検査で1橋梁、特別全般検査で2橋梁とした。通常全般検査（表-1、2で通検と示す）を行った高架橋は、ラーメン構造が3箇

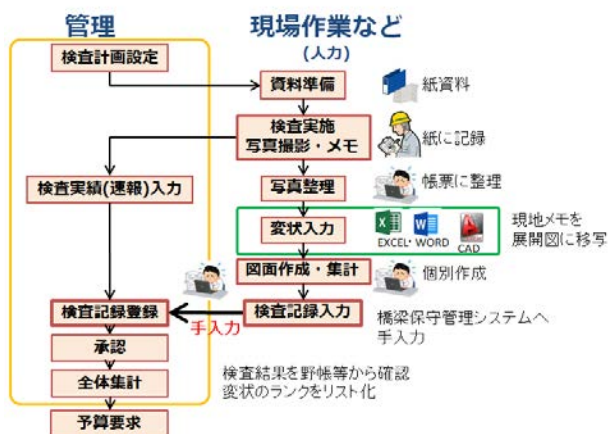


図-4 従来の検査手法の作業の流れ

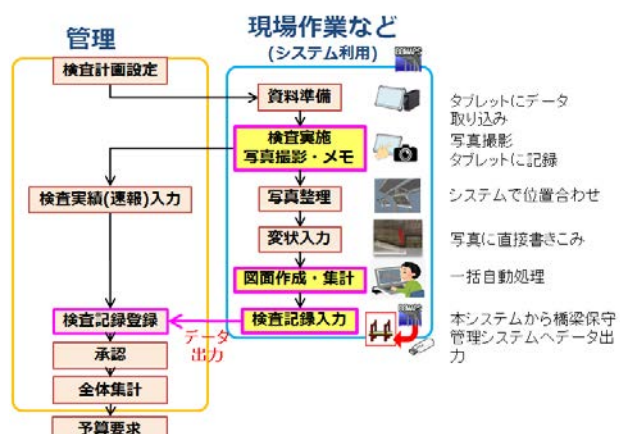


図-5 本システム利用での作業の流れ

所と、その前後の橋桁が4箇所、総延長は161mである。特別全般検査を行った高架橋のうち1つ目（特検1とする）は延長が25mの橋桁で、2つ目（特検2とする）は延長10mの橋桁である。

その結果を、本システムを利用した場合の効果について、外業（現地検査の実施）、内業（検査記録の作成）の別に、また通常全般検査と特別全般検査の別に比較したところ、以下のような状況が把握できた(表-1)。特検については特検1と特検2を平均した特検平均も求めた。

- (1)通常全般検査の外業では、有意な差がなかった
- (2)通常全般検査の内業では、36%の削減となった
- (3)特別全般検査の外業では、47%の削減となった
- (4)特別全般検査の内業では、92%の削減となった

以下に、それぞれの時間削減の効果の有無および要因について述べる。

(1)通常全般検査の外業については、本システムでは外業では写真を撮影し、概略の位置を記録するだけであるため、従来法での紙図面に変状位置をおおよその位置で記録する作業と比べ作業速度に差がなかった。今回、試行した現場では構造物が新規変状が少ないため構造物を確認しながら徒歩移動する時間がほとんどであり、両者に時間差はなかった。変状の数が多い構造物になると従来法では一つ一つ変状の形状をメモする必要があることに対し、本システムを利用した方法では、写真を撮り概略位置を与えるだけであるため、作業速度に差が生じると考えられる。

(2)通常全般検査の内業については、変状の入力および集計や、本システムから橋梁保守管理システムへのデー

タの出力・登録が自動化されていることにより、本システムを利用するほうが作業時間が短くなっていた。

(3)特別全般検査の外業については、従来法では展開図作成のために構造物の各部材の長さを高所作業車上でコンベックスで計測し、また変状を展開図上に正確に記す必要から1m刻みでメモリをチョーキングした(図-6)。この作業の時間が大きく、この時間がそのまま従来法と本システム利用と時間との差になった。

(4)特別全般検査の内業については、従来法では展開図を作成する作業に大きく時間がかかっている。また、従来法と同様に、本システム利用では変状の入力および集計や、本システムから橋梁保守管理システムへのデータの出力・登録が自動化が行われていることによっても時間の短縮効果があった。

以上より、本システムでは、従来法と比較し、外業での変状を記録する作業や、内業における変状の集計作業および登録作業において有意な差が確認された。

(2) 年間作業時間の検討

これらの検査時間の差について、システム利用の方法で行っている年間の作業時間についての、従来法で行った場合と比較した削減効果を試算した。なお、1回の作業は、外業が1日分の作業と、その外業に付随して発生する内業からなる。1回の作業時間は外業と内業の時間をあわせたものであるため、1日以上以上の時間として試算している。1回の外業作業は、実際の検査を行う時間を通常全般検査では60分、特別全般検査では120分とみなした。他に現場への移動時間や作業準備時間などの実作業以外の時間を270分とし、この時間は作業方法による時間の違いのない作業とした。

実際の年間の検査回数の実績を参考に年間作業時間を従来法と本システムを利用した場合とで想定し、削減量と削減率を算出した。なお、通常全般検査は120回/年、

表-1 試行対象橋梁概要

	構造	延長	備考
通検	ラーメン橋 橋桁	計 161m	ラーメン構造が3箇所(各30m, 40m, 50m)、その前後に橋桁4箇所(8m, 13m, 8m, 12m)の高架橋
特検1	橋桁	25m	道路橋
特検2	橋桁	10m	高架橋

表-2 従来法と本システムの作業時間比較

	外業			内業		
	従来法(分)	システム(分)	削減率(%)	従来法(分)	システム(分)	削減率(%)
通検	15	14	7%	42	27	36%
特検1	70	37	47%	199	11	94%
特検2	43	23	47%	145	17	88%
特検平均	56.5	30	47%	172	14	92%



図-6 特別全般検査従来法での1mピッチのメモリ記入(矢印の先のチョーク痕)

特別全般検査は40回/年とした。

外業の特別全般検査では、システムを利用した場合では実作業の時間は30分×4箇所120分とし、実作業以外の270分とあわせ合計390分かかるものとし、これを外業の1回分の作業時間とした。従来法の場合は実作業が56.5分×4箇所226分、実作業以外は270分で変わらないものとして、合計496分とした。外業ではシステム利用の390分を1日分としてと比較すると、従来法では496分と、1.27日かかることになる。この比率を用い、システム利用の年間40日分に相当する日数として、従来法では1.27倍で51日に相当すると試算した。

内業では、表-2に示した結果より通常全般検査の1件あたりの作業時間を、システム利用では27分、従来法では42分が通常全般検査を行う時間とした。これを1日の業務時間を8時間として日単位に変換した。特別全般検査においても同様に表-2の結果からそれぞれの日数を試算した。

この結果は図-7に示されるように、通常全般検査では22日分の減少と試算され、特別全般検査では59日分の減少していると試算された。両者を合わせると、年間で289日分の検査が208日分の検査になり81日分28%が減少していると試算された。

5. 2回目以降の作業量の比較

本システムでは、検査時に入力した変状は形状等を含めて登録される。このため、同じ構造物で2回目以降の検査の場合、前回の検査記録を利用し変状を登録することができる。前回の検査と変状の状況が同じであれば、前回の記録をそのまま登録することができるため、変状に進展があった場合には、進展した形状のみを修正することで、変状を全て入力や集計することなく、前回の記

録を有効に活かすことができる。

今回は、2017年の3月～7月に行われた検査を対象に、効果の確認を行った。2017年の3月～7月に行われた通常全般検査と、前回の通常全般検査の時に同一の検査箇所

で、登録された変状数および写真枚数を比較した(表-3)。登録された変状および写真の枚数は1回目と2回目を比較すると、およそ10%に削減されていた。変状については、初期変状の多くは1回目において登録され、それ以降の新規の変状が少なかったことが考えられる。すなわち、2回目の検査では前回(1回目)で登録した変状データをそのまま利用できたことにより、作業が大幅に削減されていたと考えられる。登録された写真が少ないことについては1回目は新規の変状などの前回からの変化が少なかったことのほかに、1回目には変状がない箇所、あるいは他の写真で変状を登録できた箇所についても、念のために撮影したものを多く登録していたことが考えられる。

6. おわりに

本システムでは構造物の3Dモデルを作成していることにより、検査時に展開図を作成する必要がなく、その作業に費やされる作業時間がない。このため、特別全般検査の内業では90%程度の作業時間の削減がみられた。また、これ以外にも、通常全般検査の内業においても集計処理や橋梁保守管理システムへの入力作業が簡易になることにより作業量の30%以上の削減の効果があることが示された。

外業においては、今回の通常全般検査のように変状の数量が多くない場合には本システムの効果は示されなかった。今後、変状が増えた場合や変状が多い高架橋の検査に用いられる場合には、省力化の効果が発揮されることが期待される。

また、今後も検査を重ねることで、前回登録したデータを継続し利用することで新規の変状や進行のあった変状だけを入力することで、変状の入力量が省力化できることが示された。

以上より、本システムを利用することで、従来法と比較して内業での変状の入力や集計などで省力化できるとともに、2回目以降の検査であればさらに省力化が図れることが示された。また、現場においても、試行的導入から2年以上が経ったが、現場の作業員の方からも、内

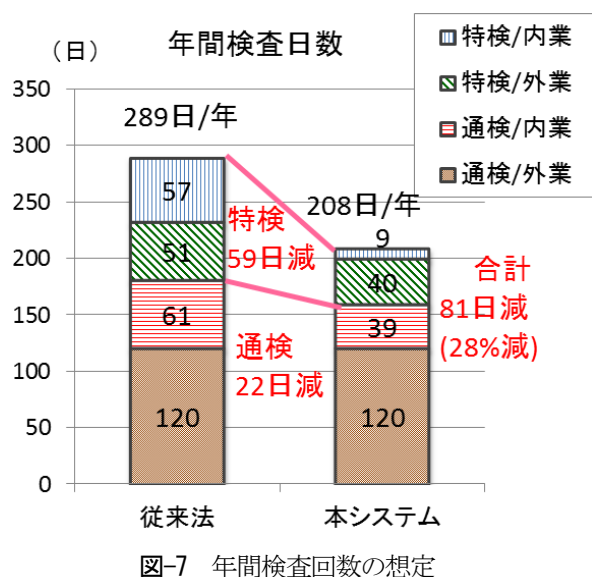


表-3 入力数量比較

	変状数 (箇所)	登録写真枚数 (枚)
1回目	12,483	9,589
2回目	1,322	1,079
削減率	10.6%	11.3%

業が省力化されたことなどから好意的に受け入れていただいていた。

今後、CIMやi-Constructionが推進されていく中で、他の構造物の維持管理でも3Dモデルを用いた管理が進められていく。今回は橋梁の検査場面のみではあるが、3Dモデルを活用した変状の数量把握などを、現状の手法よりも作業時間を減らした上で実現できることが示され、新たな運用スキームが整理できることが示された。

本システムの試行を行っている路線では、橋梁の図面が揃っていたため、図面から3Dモデルを作成できた。しかし路線によっては構造物の図面が十分ない可能性があり、そのような路線では3Dモデルを作成するために簡易に計測する手法が必要となる。

また、従来の手法で検査が行われている路線で本システムを導入する場合、これまでの展開図に記録した内容を本システムで入力し直すことになる。この作業を省力化することも課題である。

今回は検査工程のみでの確認であるが、今後は上記課題に対応するとともに、工事場面での適用性の検討および効率化検証を行い、維持管理全体の最適化が可能なシステムであることを立証していきたい。

参考文献

- 1) 中澤明寛・曾我寿孝・高山宜久・御崎哲一・中山忠雅・清水智弘・内田修・高橋康将：3D モデルを用いた橋梁維持管理システムの開発と実用化に向けた取り組み，鉄道工学シンポジウム論文集第 20 号，149-154，2016.
- 2) 中澤明寛・曾我寿孝・高山宜久・御崎哲一・中山忠雅・清水智弘・内田修・高橋康将：二時期写真の対応付けによる橋梁変状の進行性把握に関する基礎検討，鉄道工学シンポジウム論文集第 21 号，59-62，2017.

(2018.4.6 受付)

DEVELOPMENT OF BRIDGE MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM BASED ON THREE-DIMENSIONAL MODEL AND ITS AND EFFICIENCY EVALUATION

Masashi MURATA, Toshitaka SOGA, Yoshihisa TAKAYAMA,
Tadamasa NAKAYAMA, Tomohiro SHIMIZU,
Osamu UCHIDA ,Akihiro NAKAZAWA and Yasumasa TAKAHASHI

West Japan Railway Company is working on the development of bridge maintenance management system that enables the inspection work to be operated efficiently and the maintenance cycle to be successfully. This system can record correctly the shape and size of bruise on 3D model by tracing the bruise on the photograph. This system has started to be used in actual inspection work on the Hokuriku Shinkansen. We measured and estimated about the working hours when doing inspection task using this system.