

メリーゴーランド式蛍光浸透探傷装置

深澤 強 *

Tsuyoshi Fukasawa

穂積 清介 **

Seisuke Hozumi

近年、アルミ鋳造技術の発展によって、薄く複雑な形状の製品が量産されている。このため、近年、製品の生産管理に用いられる蛍光浸透探傷装置のニーズとして、「自動式」「高い処理体数」が挙げられる。また、低ランニングコストを実現するために、「少ないオペレータ」「消耗品のリサイクル性」「省スペース」が要求されることもある。I I Cで開発してきた従来装置は、探傷に必要な処理を行う装置が直列、エンドレス、メリーゴーランド状に配置されているが、先に述べたニーズを必ずしも満足していなかった。今回、上記のニーズを満足すべく、「メリーゴーランド式蛍光浸透探傷装置」をリニューアルした。

キーワード：蛍光浸透探傷、自動式、メリーゴーランド、ランニングコスト、リサイクル

1. はじめに

浸透探傷試験は、素材、部品、機器、構造物の表面に開口した割れや、溶接部の表面欠陥を検出する試験方法として、広く工業界で用いられている。その中でも蛍光浸透探傷法は、浸透性の高い溶剤に蛍光染料が加えられたものを基材とした探傷剤を用いることによって、特定波長の紫外光照射下（ブラックライト）で、高い感度で割れや表面欠陥を検出することができる。蛍光浸透探傷は大きく分けて2つの方法に分類される。

1つは水洗性浸透探傷試験である。これは余剰浸透液を水スプレーで除去できるため、試験体表

面の粗さや形状の複雑さはあまり影響しない。したがって、試験体表面の粗い物、複雑な形状の物で、主として小型量産部品や鋳造品の探傷に適している。

もう1つは後乳化性浸透探傷試験である。これは表面が滑らかで比較的形状の簡単な試験体に適用される。また、乳化剤の乳化能力や余剰浸透液への溶け込み量を適切に管理できれば、水洗性浸透探傷試験よりも高い欠陥識別能が得られる。したがって、航空機エンジン部品をはじめとする小型重要部品の探傷に適している。

当社は非破壊検査用材料の老舗である米国MAGNAFLUX社と輸入販売契約を締結し、1987

* システム事業部 設計開発部

** システム事業部 設計開発部 課長

年より同社の主力製品である ZYGLO（浸透探傷材や磁粉探傷材など）を国内のユーザーに供給している。また、ユーザーの様々な用途に応じた蛍光浸透探傷装置を開発し、主にアルミ鋳造物や航空機エンジン部品用の探傷装置を多数納入してきた。

本稿では、当社でこれまでに納入してきた蛍光浸透探傷装置のうち、近年の客先ニーズである「自動式」「省スペース」「高い処理体数」「少ないオペレータ」「低いランニングコスト」を満足できるメリーゴーランド式蛍光浸透探傷装置について、特徴、運転の流れとシステム構成、低ランニングコスト化に向けた試み、導入事例について紹介する。

2. 特長

従来装置の主流であった直列型または図1に示すエンドレス型蛍光浸透探傷装置は、試験体の着荷・脱荷と探傷をそれぞれ異なる場所で行うために、各々の位置にオペレータを配置する必要があった。この構造上の特徴から、試験体数が少ないときにも複数のオペレータを配置する必要があり、合理性に乏しい検査方法であった。

一方、メリーゴーランド式蛍光浸透探傷装置は図2に示すように、扇形型のエリアが集合したメ

リーゴーランド部と検査室（暗室）から構成される。検査室とメリーゴーランド部が隣接しているため、1名のオペレータが検査室内で、試験体の着荷・脱荷と探傷作業を行うことができる。また、メリーゴーランド内のエリアが環状に配置されるために据付面積を大幅に節減することができる。

メリーゴーランド部の内部は、異なる処理機能を有するエリアが試験体の搬送経路上に配置されており、試験体がエリアにあるときに浸透探傷処理が自動的に行われる。試験体の搬送方法は2つの方式に分類できる。1つは図3に示す既に実績のある「吊り治具」を用いる方法と、もう1つは現在開発中の「ドーナツ型ターンテーブル」を用いる方法である。

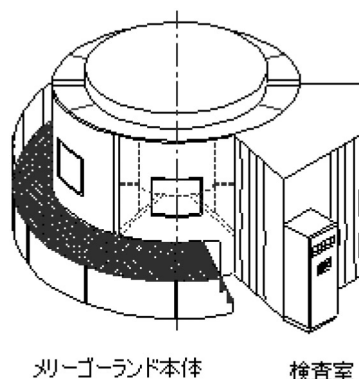


図2 メリーゴーランド式蛍光浸透探傷装置（概念図）

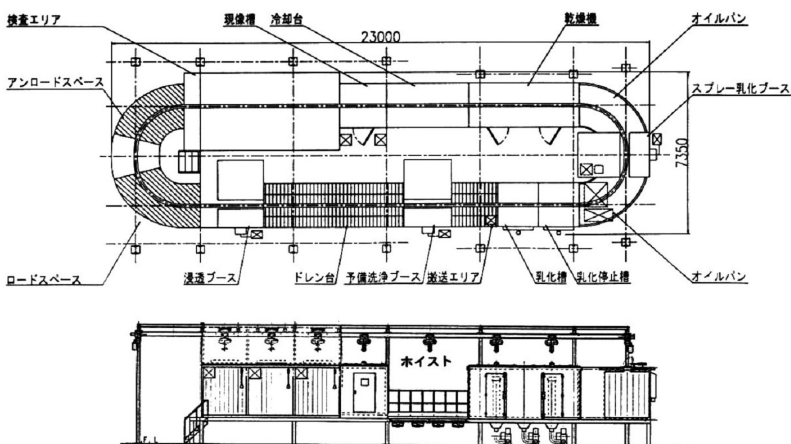


図1 エンドレス型蛍光浸透探傷装置



図3 吊り治具

吊り治具を用いる方法は、形状が複雑な試験体を探傷するときには有効と言える。試験体が搭載された吊り治具を旋回後にエリア内で回転することによって、試験体全面に均等に浸透液や洗浄水をスプレーすることができ、欠陥識別能に影響を来たす要因である「浸透液塗布不良」や「余剰洗浄液の洗浄不良」を低減することができる。また、吊り治具の旋回動作は間欠的であるため、吊り治具がエリア内で停止している間にエリアを区画シャッターで分割・密閉することが可能である。これにより、近接するエリアやオペレータが居る検査エリアへの浸透液や洗浄水ミストの漏洩を低減することができる。したがって、健康や環境への配慮に優れた構造である。

ドーナツ型ターンテーブルを用いる方法は、形状が簡素な試験体の探傷に適している。この場合

は「吊り治具」方式のように試験体をエリア内で回転する必要がないため、試験体が搭載するドーナツ型ターンテーブルを連続的にエリア内を試験体が通過するように回転することができる。したがって、安定した処理速度を確保でき、量産部品の探傷試験に適すると期待できる。

表1にエリア配置の違いによる特徴を比較する。

3. 運転の流れとシステム構成

先に述べたように、メリーゴーランド式蛍光浸透探傷装置は1名のオペレータで運転することができる。自動化が困難である「搬送機構への試験体の着荷と脱荷」および「検査」についてはオペレータが検査室で行うが、メリーゴーランド内における試験体の搬送と浸透探傷処理については自動化を実現している。

表1 エリア配置の違いによる特徴の比較

エリア配置方法	従来式		メリーゴーランド式	
	直列配置型	エンドレス型		
運転モード	自動	手動	自動	
オペレータ	2名以上	1名以上	1名	
搬送方法	電動式ローラーコンベアやネットコンベアに搭載された試験体が自動搬送される。	電動式チェーンブロックに吊下げられた試験体を手動搬送する。	電動で旋回する吊り治具に搭載された試験体が自動搬送される。	電動で回転するドーナツ型ターンテーブルに搭載された試験体が自動搬送される。
着脱・脱荷場所と探傷場所の位置関係	エリアが直列に配置されるため大きく離れる。	電動式チェーンブロックがエンドレスレールを走行するため近接できる。	同じ。	同じ。
試験体処理方法	エリア内で自動的に処理される。	エリア内でオペレータが処理する。	エリア内で自動的に処理される。	エリア内で自動的に処理される。
試験体	簡素な形状の量産部品	大型のエンジン部品	複雑な形状の量産部品	簡素な形状の量産部品
特徴	装置が直線状に展開するため導入が困難な場合がある。	手動運転によるため量産部品の試験には適さない。	コンパクトである。複雑な形状の量産部品の探傷に適する。	コンパクトである。簡素な形状の量産部品の探傷に適する。

図4に示す装置では、メリーゴーランド内は「着荷・脱荷エリア」「浸透スプレーエリア」「浸透ドレンエリア」「洗浄エリア」「手洗浄・エアブローエリア」「乾燥エリア」「クールダウンエリア」に区画シャッターで分割されている。また、吊り治具は7個設置されており、中央にある駆動部から旋回アームを経て回転力が伝達される。

オペレータは先ず、着荷・脱荷エリアにある空の吊り治具に未処理の試験体を搭載し、検査室内で「スタート」ボタンを押す。それと同時に全ての区画シャッターが一斉に開く。その後、7個の吊り治具は同時に時計方向に51.4° 旋回し、次の処理を行うエリアに試験体が搬送される。搬送後にエリアを密閉するために全ての区画シャッター

が一斉に閉じ、それぞれのエリアの浸透探傷処理が自動で行われる。この操作を繰り返せば、オペレータが着荷した試験体は浸透スプレーエリア、浸透ドレンエリア、洗浄エリア、手洗浄・エアブローエリア、乾燥エリア、クールダウンエリアと搬送され、1回転後に着荷・脱荷エリアに浸透探傷処理が完了した試験体に戻ってくる。オペレータは処理が完了した試験体を脱荷するとともに、新しい探傷前試験体を着荷する。脱荷された試験体は、次の浸透探傷処理が行われている間に、ブラックライト照射下で傷や欠陥の識別が行われる。メリーゴーランド内で行われている浸透探傷処理は以下のとおりである。

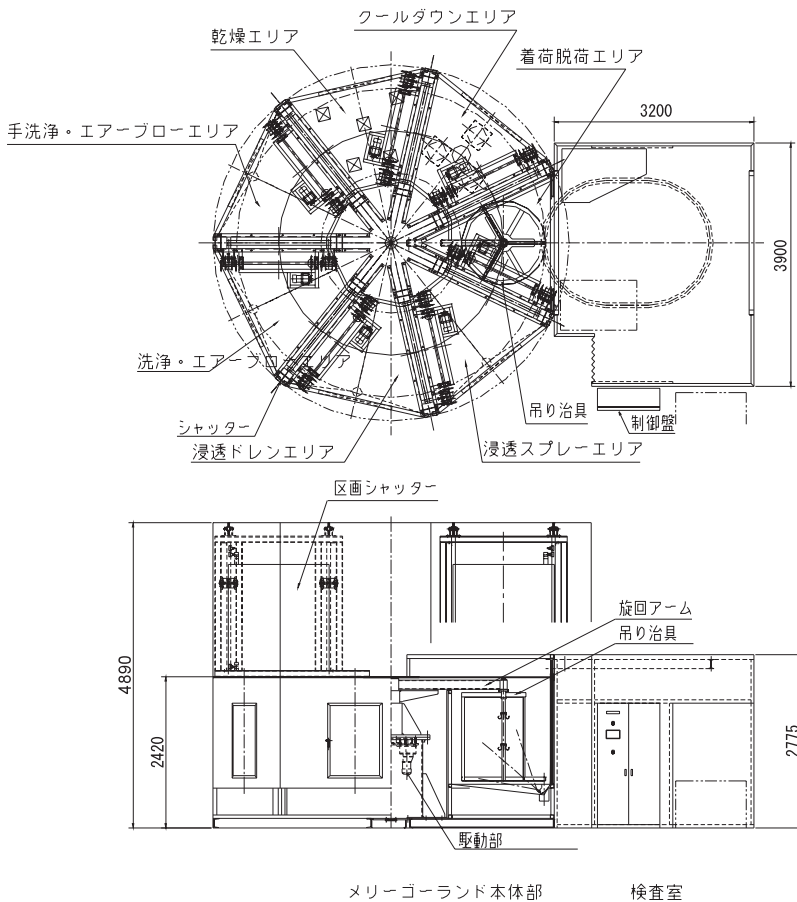


図4 メリーゴーランド式蛍光浸透探傷装置（全体図）

(1) 浸透スプレーエリア

試験体の表面全体に浸透液を付着させるエリアである。複雑な形状の試験体にも効率よく浸透液を付着させるため、図5に示すようなミスト化された浸透液を噴射可能なエアートマイジング式スプレーノズルがエリア内に取り付けられている。また、吊り治具をエリア内で自転する機構が設けられており、エリア内に滞留した浸透液ミスト雰囲気中で試験体を回転することにより、均一な膜厚の浸透液が付着される。試験体に付着しなかったオーバースプレーは、エリア外に設けられたタンクに回収され、必要に応じてリサイクル使用が可能である。これらの処理は自動で行われる。

(2) 浸透ドレンエリア

割れや表面欠陥の中に浸透液を浸透させるとともに、表面に付着した余剰浸透液を滴下させるエリアである。

(3) 洗浄・エアブローエリア

割れや表面欠陥の中に浸透した浸透液以外の健全な部位に付着した余剰浸透液を水を用いて洗浄するとともに、試験体表面の水分をエアで除去するエリアである。洗浄はエリア外に設置された加温加圧装置から供給される温水をエ



図5 エアートマイズ式スプレーノズル

リア内に設置されたスプレーノズルから噴射することによって行われる。また、エアブローは圧縮エアをエリア内に設置されたエアノズルから噴射することによって行われる。なお、エアノズルは低エア消費型であるとともに噴射エアの指向性が高いものが用いられる。

浸透スプレーエリアと同様に吊り治具の回転機構が設けられており、複雑な形状の試験体に付着した余剰浸透液の除去と水分の除去を効率よく行える。これらの処理は自動で行われる。

(4) 手洗浄・エアブローエリア

表面に深い窪みがある試験体や三次元的に複雑な形状の試験体は、余剰浸透液が残留する可能性がある。このエリアでは補助的にオペレータがハンド式スプレーガンを用いて余剰浸透液を温水で洗浄することができる。また、装備されているハンド式エアガンを用いて手洗浄時に付着した水分を除去できる。

(5) 乾燥エリア

ここで紹介する装置は無現像法のため洗浄処理後に乾燥処理を行う。乾燥処理は割れや表面欠陥の中に浸透した浸透液のにじみを防止するとともに、浸透した浸透液を熱膨張や欠陥内に残留する空気熱膨張により表面方向に押し上げ、探傷時の欠陥識別能を高める効果がある。乾燥処理は、エリア外に設置された循環式熱風乾燥機から供給される80℃程度に加熱された熱風によって行われる。循環式熱風乾燥機は常時起動しており、試験体がエリア内に搬送された直後から乾燥処理を行える。

(6) クールダウンエリア

試験体脱荷ハンドリング時のオペレータの火傷を防止するために、乾燥処理後に試験体を冷却するエリアである。エリア天井部に吸気ファンが設けられており、外気を引き込む。

4. 仕様

図4に示した装置はアルミ鋳造物の量産部品の探傷を目的に開発した。仕様を表2にまとめる。

5. 低ランニングコスト化に向けた試み

先に述べたように、近年、蛍光浸透探傷装置に高いコストパフォーマンスを要求されることが多い。ランニングコストの低減を実現するためには、消耗材である浸透液の購入量を節減することと、余剰浸透液の洗浄に用いる洗浄水の消費量を節減することと、廃水量を低減することが合理的と考えられる。以下のランニングコストの低減化に向けた試みを行った。

(1) 浸透液のリサイクル

スプレー法による浸透液塗布は、浸透液槽に浸漬する方法（浸漬法）や、浸透等をはけ塗する方法（はけ塗り法）や、静電ガンをを用いて

付着させる方法（静電塗布法）と比較して1回の浸透処理あたりに発生する廃液量が多く、コスト的に合理的な処理方法とはいえない。これはスプレーノズルから噴射された浸透液が試験体表面に付着する効率が低く、その他の多くはオーバースプレーや、余剰塗布による滴下や、ミスト回収機への吸引などによって消費されるためである。図4に示した装置においても、1回の浸透液スプレーで使用する100 mL程度の浸透液のうち、試験体に付着するのは2,3%程度と推定される。そこで本装置では余剰な浸透液をタンクに回収しリサイクル使用できる機構を実現した。

(2) 洗浄水のリサイクル

試験体の表面に付着した余剰浸透液の除去に必要な洗浄水は、その消費量と洗浄処理後の廃液量が多ければランニングコストが高くなる。図4に示した装置においても、1回の洗浄処理あたり

表2 メリーゴーランド式蛍光浸透探傷装置の仕様

項目	仕様	注 記
運転モード	自動式	試験体の着荷・脱荷と探傷はオペレータが手動で行う。
試験体サイズ	最大1,000×300×300mm	吊り治具1台に最大4個搭載可能
処理体数	1日（8時間）あたり600体程度	吊り治具への試験体搭載数を4個として、150回タクトを実行した場合
処理速度	24分程度	試験体の着荷開始から探傷完了まで
タクト速度	1タクトあたり3分程度	吊り治具の旋回とシャッター開閉の時間は1分程度であり、エリア内における処理時間は2分である。
処理方法	無現像式	
浸透液	水溶性蛍光浸透探傷液	リサイクル可能
洗浄水	消費量：1タクトあたり8L 温度：38℃	リサイクル水と清浄水を切替え使用可能
熱風乾燥	方式：熱風循環式 温度：80℃（設定値）	
ブラックライト	400Wオーバーヘッド型ライト	

24 L程度であり、1日に150回の処理を行った場合に3.6 m³程度の廃液が発生することになる。洗浄水廃液に含まれる浸透液の含有量は0.12 wt %程度と少なく、洗浄水廃液で余剰浸透液の洗浄性が実証されればリサイクル使用が可能となり、ランニングコスト低減に向けたリニューアルが可能となる。そこで、浸透液をスプレーしたアルミ片の蛍光輝度と、浸透液をスプレー後に模擬廃液(0.12 wt %浸透液)で洗浄したアルミ片の蛍光輝度を観察した。この結果、模擬廃液で浸透液の洗浄性が確認されたため、以下に述べるリサイクル機構を装置に取り入れ、廃液排出量を従来の3分の1程度に低減することが実現された。

粗洗浄 (8/24%) : 洗浄廃液をリサイクル使用する。使用後は廃水ピットに廃棄する。

軽洗浄 (8/24%) : 洗浄廃液をリサイクル使用する。使用後はリサイクル用に回収する。

仕上洗浄 (8/24%) : 上水を使用する。使用後はリサイクル用に回収する。

6. おわりに

メリーゴーランド式蛍光浸透探傷装置の「自動式」「省スペース」「高い処理体数」「少ないオペレータ」「低いランニングコスト」を目的としたリニューアルを行い、平成16年9月に株式会社古河アルフレックス殿(旧古河鑄造株式会社)小山工場に納入し、現在順調にフル稼働している。図6に装置の外観を示す。

IICは検査計測を主にした会社であり、品質管理の一端を担う装置を今後とも提供していきたい。さらに、安全・地球環境の保全に貢献できる製品を開発していく所存である。



図6 メリーゴーランド式蛍光浸透探傷装置 (導入事例)