実用化技術賞

改良型原子炉容器超音波探傷装置の開発

Development of Advanced Ultrasonic Inspection Machine for Nuclear Power Plant Reaction Vessels

大道 武生^{*1} 本村 士郎^{*1} 深川 幸夫^{*1} 西原 正敏^{*1} 小西 雅義^{*1}
 谷口 優^{*2} 青山 富夫^{*2} 吉岡 京一^{*2} ^{*1}三菱重工株式会社高砂研究所, ^{*2}三菱重工株式会社神戸造船所
 Takeo Omich, Shiro Honmura^{*1}, Sachio Fukagawa^{*1}, Masatoshi Nishihara^{*1}, Masayoshi Konishi^{*1},
 Masaru Taniguchi^{*2}, Tomio Aoyama^{*2}, Kyouichi Yoshioka^{*2} and Junji Nakayama^{*2}

^{*1}Takasago Research & Development Center Mitsubishi Heavy Industries, Limited, ^{*2}Kobe Shipyard & Machinery Works Mitsubishi Heavy Industries Limited

1. ま え が き

原子炉容器 (R/V) はその健全性を確認するために、供用期間中検査 (In-Service Inspection: ISI) が実施されている。また、ISI の基礎データとして活用するため、供用前検査 (Pre-Service Inspection: PSI) が運転開始直前に実施される。検査は主として溶接部及びその影響部が対象になるが、ISI 時には R/V が放射化されており人の接近は不可能であるとともに、放射線しゃへいのため水中で超音波探傷 (UT) を用いて実施されてきた。しかしながら R/V は直径約 4[m]、高さ 10[m] にも及ぶ大型構造物であり、正確な探傷位置が必要とされる検査のために各国とも機械的変形の少ない大型の遠隔装置を開発し使用中である。一方、R/V までのアクセスには本大型装置を一旦分解し再組立てすることが必要であり、それに伴って生じる労力や時間は必ずしも小さなものとは言い難い。また、これらの装置の信頼性は非常に高いものであるが、故障等が生じた場合その対応には原子炉建屋内にあるクレーン等を使用することになり他作業進展に障害となることも考えられる。

これらの解決を目指して、ISI, PSI 両検査への適用を目指して開発したのが本装置である。

2. 開発への挑戦

上述の課題は 20 年以上前に開発された従来装置の開発時から指摘されていたことであるが、まだマイコンが登場する前であり、当時としてはロボットとしても傑出したものであった。その後、1980 年頃潜水艦方式をアイデアし、シミュレーションによって実現性を検討したものの位

置標定、UT の走査精度を解決するに至らなかった。しかし、レーザ技術やマニピュレータ運動制御の進展に力を得て、水中計測技術の見通しを得、新しいアイデアの提案を行うに至った (1985 年)。関係者の理解を得、大きな技術課題である水中レーザ位置標定精度確保とマニピュレータによる、ならい精度確保のためのマニピュレータ構造設計と制御手法に関する要素技術研究を行った。この結果に力を得て、1988 年から装置試作研究を行い装置実現を観ることとなった (1990 年)。

このように、本装置は基本アイデアから装置化まで約 10 年を要するプロジェクトで開発当事者の粘りもさることながら開発ニーズ元、すなわち原子力プラントの運転性向上を目指して努力している関係者の努力も図りしれないものがあり、両者の連携なしに本ロボットの実現はありえなかったと考える。

3. 技術的特徴

本ロボットのシステムアイデアを図 1、図 2、図 3 に従来例と比較して示すが、これらを実現するための要素技術として世界的なものも多い。

例えば

- ① アルゴンレーザによる水中高精度測定
 (距離 20[m] / 精度 ± 5 [mm] 以上)

図 1 従来マシン

図 2 A-UT マシン

原稿受付 1994 年 1 月 14 日

キーワード: Ultrasonic Inspection Machine, Reactor Vessels, 3D Positioning Devices, Argon Laser, 8 D.O.F. Manipulation, Pre-service Inspection

^{*1}〒 676 兵庫県高砂市荒井町新浜 2-1-1
 Takasago-shi, Hyogo

^{*2}〒 651 神戸市兵庫区和田崎町 1-1-1

図3 課題と達成方法

図4 A-UTマシンシステム

- ② 画像処理によるロボットのリアルタイム追尾
(精度 $\pm 10[\text{mm}]$)
- ③ 8軸マニピュレータによるUTのくura型走査
(精度 $\pm 2.5[\text{mm}]$ 以上)
- ④ 手先センサによる誤差補正
- ⑤ 重心・浮心関係コントロールによる遊泳操作の容易化等々である。もちろんシステムとしては世界的にも類例のないものであり、海外からも様々な問い合わせが寄せられている。特に、R/Vの探傷は巨大なコラム方式しかないとしていた常識に新鮮なインパクトを与えた。ロボットとしても知能ロボット、いわゆる、ロボットらしいロボットが実用された最初の例とも言えるように思える。

4. 機能認定とPSI適用

水中遊泳式マシン本体、位置標定装置、及び制御装置からなる試作開発要素とUT処理系、すなわちUT探傷器、UTデータ記録・解析システムを結合し、図4に示すシステム化を図り、実寸サイズの原子炉容器モックアップを使用して機能試験を実施した。この試験の中で通産省の指定機関である発電技術検査協会の実用性確認試験を受け、探傷装置としての各種要求事項を満足することが確認された。

実工事に適用しうる確証が得られ、本システムをPSI工事に適用し、JEAC 4205に規定されている全検査対象箇所の探傷を完遂し得た(1991年)。PSI工事適用時のシステム鳥瞰図を図5に示す。また、図6に工事の状況を示した。

図5 PSI適用システム鳥瞰図

図6 PSI工事適用状況

従来のUTマシンでは、装置の搬入、組立、設置、取り外し、解体作業工程に多くの労力と時間を要していたが、本システムでは、小型・軽量のため搬入・搬出が容易であり、クレーンを使用した組立、解体作業等が不要である。また、マシントラブルに対しても容易にマシンを吊り上げることが可能であり、メンテナンス後即座に吊り込み、検査作業を続行することができる。

このように本システム開発の狙いとした検査期間の短縮、並びに装置取り扱い性の向上を実証し得た。

5. あとがき

本装置はPSIに供することで実用装置として認められISI装置の製作が進行中であるが、さらに、多くのユーザに活用してもらうために、一層の改良も検討されている。すなわち、日進月歩のロボット技術を適用することによって、取扱い性の容易化やコスト低減等を行うことである。いずれにしてもR/VのISIやPSIの効率化や被曝低減に少しでも多く活用されるよう今後ともたゆまぬ努力を行っていきたい。