工場デジタル化による製造・品質管理高度化

Advancement of Manufacturing and Quality Control by Shop Digitalization

佐野 裕介[*1] Yusuke Sano
吉永 忠史[*2] Tadashi Yoshinaga
西岡 毅[*3] Tsuyoshi Nishioka
寺前 卓真[*3] Takuma Teramae
永尾 剣一[*3] Kenichi Nagao
三宅 孝司[*4] Takashi Miyake

高い品質が要求される原子力製品の製造工場において，製造管理や作業記録は，製品品質を確保し保証するために不可欠である。近年，原子力製品への品質管理要求がさらに高度となるなか，工場では発電所の機能増強等に対応する少量多品種の製品を，法令や規格の要求に応じて製作を行うきめ細かな製造管理を進めている。本報では，モバイル端末や電子帳票などのITを活用したデジタル化により，各種製品の作業指示，作業履歴などのより確実な管理を可能とする製造管理と，品質記録における手書き等の人の関与する作業を最小化した品質記録管理に関する事例を紹介する。

1. はじめに

原子力製品の製造工場において，高い製品品質を確保するための厳格な製造管理と，製品品質や作業の適切性を証明するための作業履歴を含む作業記録の品質はともに重要であり，以下の点を確実に実施することが必要である。

① 決められた手順通りに作業し，その履歴を品質記録として記録する
② 作業ごとに決められた図書（図面・作業指示書等）の最新版を使用する
③ 各作業における必要な品質記録を信頼性の高い状態で作成，保存する

そこで，当社では，設計情報から製作管理までをシームレスにつないだ作業管理システムを構築し，構内専用のスマートフォン端末を使って作業者一人ひとりが作業管理システムを利用することで，決められた手順による作業と図書の最新版管理を徹底してきた。また，従来，手書きが主流であった記録の作成について，タブレット端末を活用した作業記録のデジタル化を推進し，記録に関わる人の関与を最小化することで作業の合理化と記録品質の向上に取り組んでいる。次節以降にて，これらの取組みの概要について紹介する。

2. スマートフォンを用いた作業管理システム

2.1 作業管理システム

原子力製品の工場では少量多品種の製品に対し，製品ごとに異なる法令や規格の要求に応じて製作を行うために，きめ細かな製造管理が求められる。当社では，設計情報から製造管理までをシームレスにつないだ作業管理システムを構築し，図1に示す製造管理を実施している。

製作検討段階において，製作担当者は，設計担当者が作成した図面等の設計情報から，製作手順流れ図を作成する。また，工程担当者は，製作手順流れ図より，製品の製作日程を記した

*1 原子力セグメント原子力工作部 主席技師 技術士（金属部門）
*2 原子力セグメント原子力工作部 主席チーム統括
*3 原子力セグメント原子力工作部
*4 原子力セグメント原子力工作部 次長

日程表を作成する。作業管理システムでは，製作手順流れ図から作業項目を作業順に記載した作業手順書(トラベラ)を生成する。製作段階において，作業監督者は，日程表及びトラベラから製品の製作日程と作業内容を確認し，作業者へ作業指示を行う。作業者は，トラベラにより決められた作業手順，内容と適用される図書を確認することで，決められた作業手順・内容での製作を確実に実施できる仕組みとしている。また，作業完了後は，作業管理システムへ完了情報を入力することにより，作業進捗の管理及び作業履歴の記録が適切に行われる。

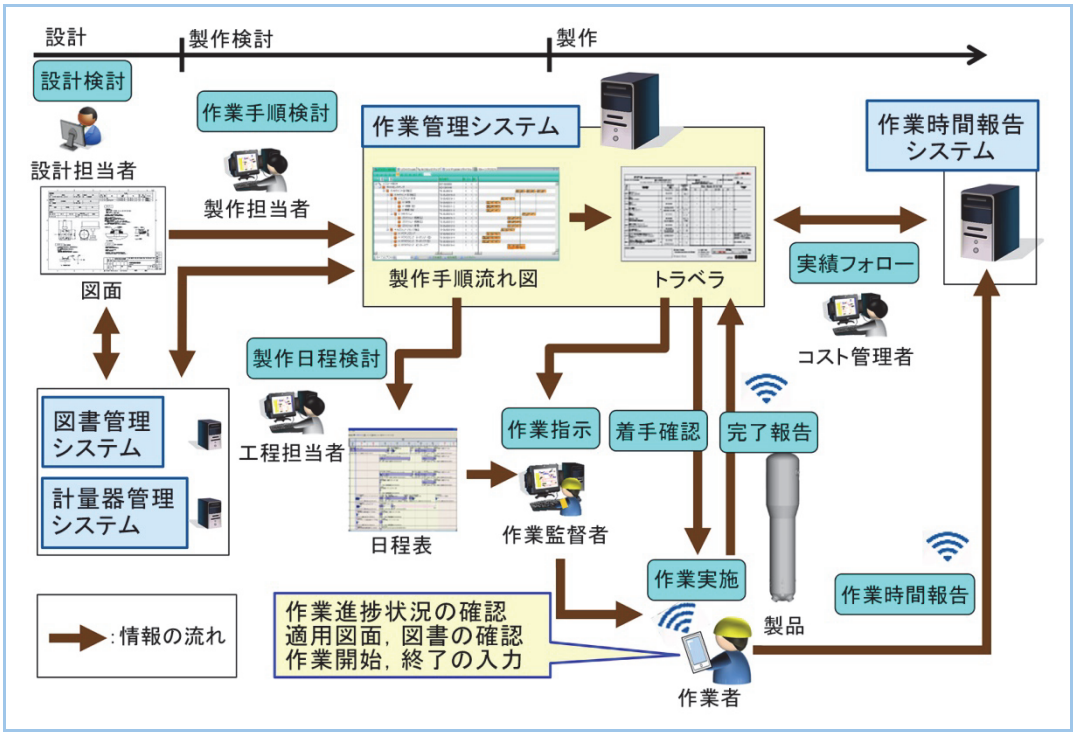

図1　作業管理システムを活用した製作管理概要図

2.2　リアルタイム作業管理のためのスマートフォン活用

2.1 に記した作業管理システムの運用にあたっては，全作業員に構内専用スマートフォン端末を携帯させ，かつ工場全域にて高いセキュリティ性を備えた構内専用モバイルネットワークを構築した。作業者は，スマートフォンにて製品・部材ごとに添付された QR コードを読み取って作業管理システムへアクセスし，トラベラに記載された作業指示内容，適用図書を確認するとともに，各作業者の作業着手/完了の入力ができるようになっている。作業現場での QR コード読み取り状況を図2に示す。作業者一人ひとりが作業管理システムを利用することで，リアルタイムで厳格な作業管理が可能となり，原子力製品の高い品質要求に応えるものづくりを実現している。

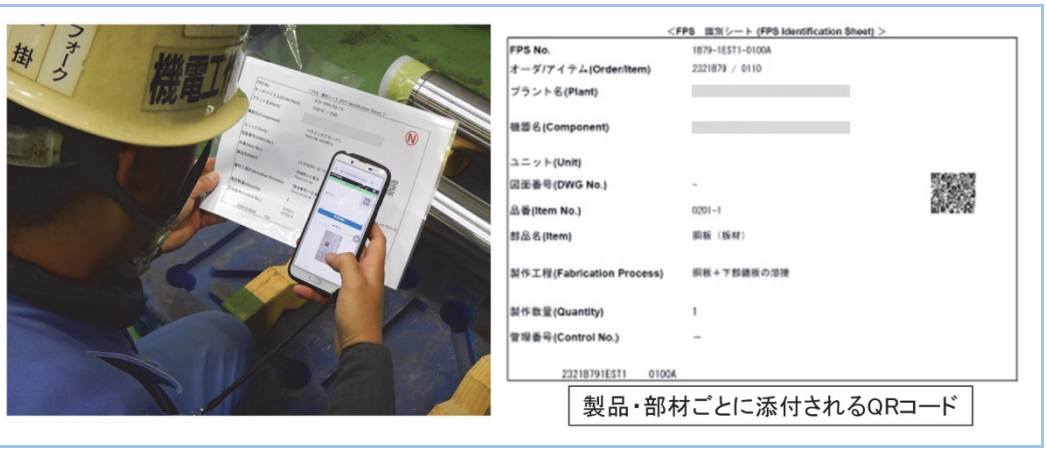

図2　作業現場での QR コード読み取り状況

2.3 計量器管理システムとの連携

原子力製品の製造過程において使用される計量器は，定期的な精度検定が行われていることを保証するとともに，どの計量器をどの作業に使用したかという履歴を記録として残しておく必要がある。これまでの手書きの記録では，使用履歴の確認を行う際に多大な労力を必要としていた。そこで，2.1 項に示した作業管理システムと既存の計量器管理システムを連携させ，計量器に貼付した QR コードを読み取ることにより，作業前に計量器が正しく検定され，使用可能期間内であることを自動的に確認できるようにした。また，どの作業でどの計量器を使用したかがシステム上に登録されることにより，使用履歴の検索性が飛躍的に向上した。計量器管理システムとの連携による計量器管理の模式図を図3に示す。

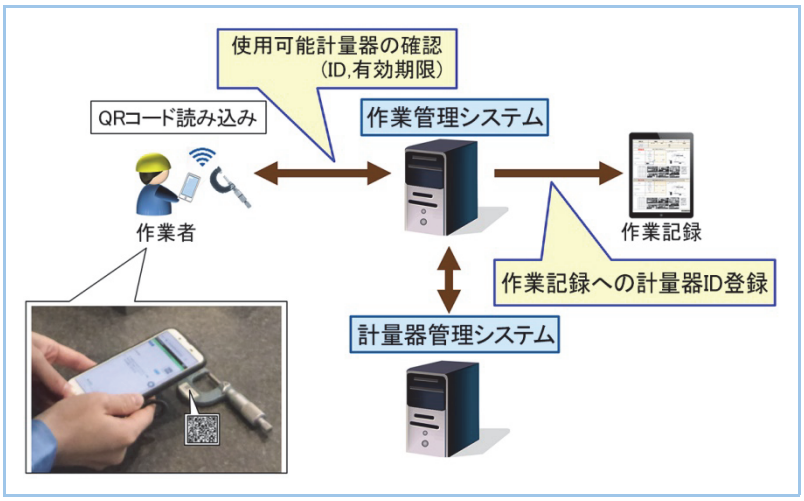

図3 計量器管理システムとの連携による計量器管理

2.4 作業時間報告システムとの連携

各作業者の一日の作業時間報告は，報告された時間を集計・分析することで，作業に要した実績時間を正確に把握し，さらなる作業改善ポイントの抽出につなげることができる重要な情報である。これまでの作業時間報告は，手書きの報告書にて作業ごとに従事した時間を細かく記載していたため，集計作業に多大な労力を必要としていた。そこで現在は，2.1 項で示した作業管理システムと作業時間報告システムを連携させ，作業長があらかじめ指示した作業項目に対し，作業時間を入力するシステムを構築した。これにより，作業時間集計を大幅に合理化し，そのデータを活用した，よりきめ細かな作業改善につなげることを可能とした。

3. 品質記録のデジタル化

従来，原子力製品の製造時の品質記録は手書きであり，多数の記録作成と確認に多くの労力を費やしていた。この状況を改善するため，品質記録のデジタル化に取組み，記録に関わる人の関与を最小化することで，品質記録に関する作業の合理化を目指している。また，記録のデジタル化は，品質記録に関する作成時の信頼性向上，リアルタイムでの活用，後々の検索性向上にも有効であり，各種 IT を活用した記録デジタル化の適用範囲拡大に取り組んでいる。

3.1 項では，溶接作業の記録において電子帳票とタブレット端末を用いて記録作成を行い，その記録と施工条件範囲との照合を自動化して確認作業の効率化を実現した溶接作業記録のデジタル化事例を紹介する。3.2 項では，電子帳票への入力に工具からの直接データ伝送（M2M: Machine-to-Machine）や音声入力を適用する記録のデジタル化とともに，作業結果の自動判定を行い，より確実な製造プロセス管理と作業合理化を達成した事例を紹介する。

3.1 溶接作業記録のデジタル化

原子力製品の溶接作業においては，あらかじめ認定された溶接施工方法によって認定された作業者が管理された設備を使って作業を実施し，それを記録として残しておく必要がある。溶接

記録は，溶接技能者が作業時に作業実績として手書きにて行っており，月あたり 500 枚を超える記録の作成と確認に多くの労力を費やしていた。この状況を改善するため，溶接作業記録のデジタル化に取り組んだ。電子帳票を用いた溶接作業記録のデータフローを図4に示す。電子帳票を用いて従来の紙への手書き記入をタブレット端末への電子入力に置き換え，帳票の作成や記録の確認は，溶接施工方法や溶接技能者の作業資格のデータを持つ溶接管理システム，計量器の管理情報を持つ計量器管理システムなどの既存システムと連携することにより，自動で実施するようにした。蓄積されたデータからは，溶接技能者の作業従事履歴や計量器の使用履歴など，検索により容易に取り出すことが可能である。

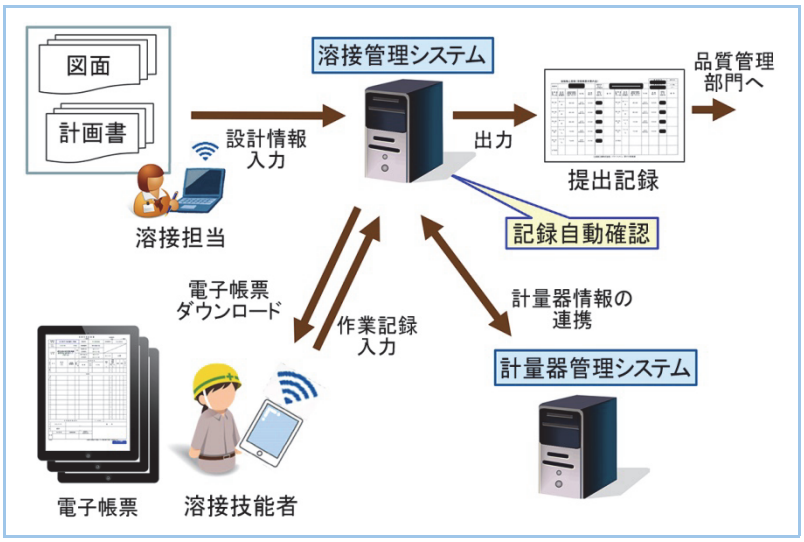

図4　電子帳票を用いた溶接記録のデータフロー

実際のタブレット端末での溶接作業記録入力状況を図5に示す。

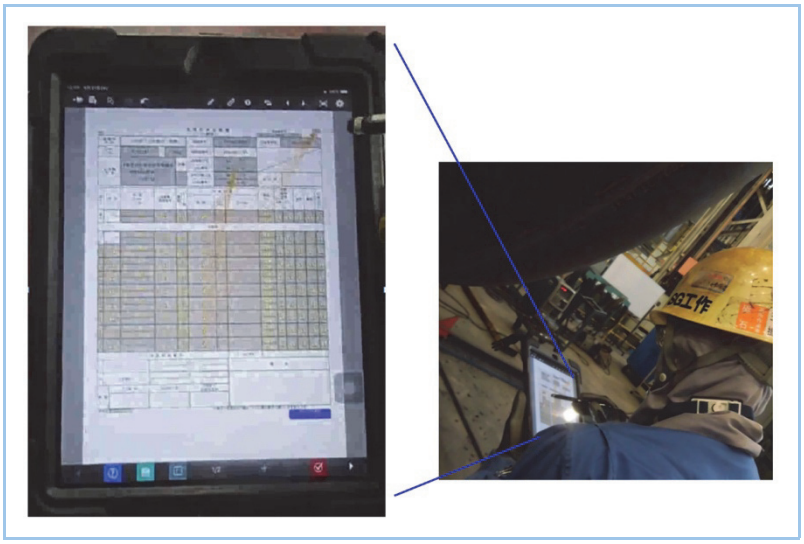

図5　タブレット端末での溶接記録入力状況

上記の取組みにより，記録の品質を向上させるとともに記録の確認作業に費やしていた労力を合理化した。また，記録データ活用の迅速化を実現した。現在，2020 年度末までの工場における溶接記録デジタル化完了を目指し，対象の拡大に取り組んでいる。

3.2　各種記録のデジタル化

電子帳票を用いた記録作成において人の関与をさらに少なくし，作業の合理化と記録の信頼性向上を達成するため，当社では，M2M や音声入力による作業記録の採取を起点とした作業記録のデジタル化に取り組んでいる。

原子力プラント向け制御盤や電気装置類の製作においては，ケーブルの圧着作業やボルトの締め付け作業を確実に実施するため，圧着器の点検やボルトの締め付けトルクの計測を行い，自主点検記録をチェックシートなどの形で残している。従来は紙帳票に手書きでこれらの測定値を記録していたが，計測器の値を自動的に電子帳票へ転送する M2M のシステムを開発した。M2M による記録採取・管理システムの構成図を図6に示す。計測器用データ転送アダプタとタブレット端末，電子帳票を活用して，計測器の値を自動的に電子帳票へ転送し，さらに計測値が規定の範囲内にあることの照合を自動で行うようにした。採取した記録は共有サーバにアップロードし，検索，活用できるようにした。

図6　M2M による記録採取・管理システム構成図

また，工具が M2M 対応をしていないなど，M2M による記録採取が適さない作業においては，音声入力を活用することにより記録採取の省力化に取り組んでいる。音声入力による記録採取状況の一例を図7に示す。記録採取にあたっては，音声入力用ヘッドセット型マイクを使用し，ハンズフリーでの記録採取・データ確認を実現した。また，作業者が音声入力した直後に，システムが音声で復唱し，確認を行えるようにして，より確実に正しい入力が行えるようにした。

上記の通り，M2M と音声入力を起点としてあらゆる記録をデジタル化し，記録作成への人の関与を最小化することで，記録品質向上，生産プロセス管理の徹底，生産性向上に取り組んでおり，今後，さらなる適用対象拡大を計画している。

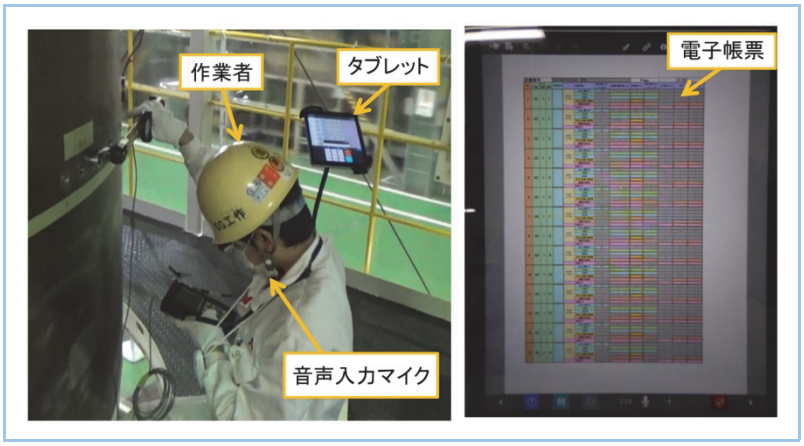

図7　音声入力による記録採取状況（ボルト締め付け作業）

4. まとめ

当社では，原子力製品に求められる高度な製造管理・品質管理要求に対応し，原子力製品の基幹製造工場として製造管理の高度化と品質記録のデジタル化を推進している。製品の製造管理や作業管理記録の品質は，製品の品質を保証する重要な機能の一つであり，継続的な機能向上は，その製品を使用する原子力プラントの安全性・信頼性の向上に不可欠である。

今後も，長期にわたり信頼して使用していただける原子力製品を提供する最先端工場として，IT/IoT を活用した製造管理・品質管理の高度化及び適用範囲拡大を推進していくとともに，高品質機器の製造現場をリードする先進的な取組みを推進していく。