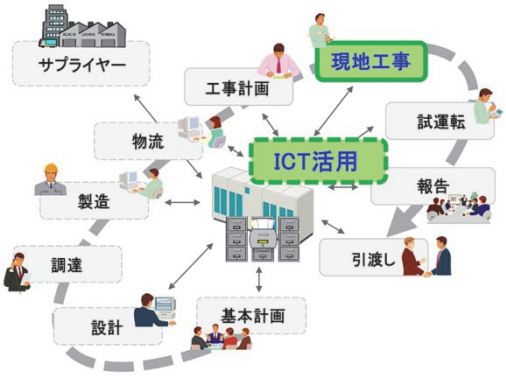
原子炉施設建設技術のICT等を活用した高度化への取組み

Approach to the Advancement of the Construction Technology Using ICT



廣芳 啓明*1 Takaaki Hiroyoshi
飯星 雄介*1 Yusuke Iihoshi
伊勢田 昇*1 Noboru Iseda
崎原 奈穂*1 Naho Sakihara
石井 達也*1 Ishii Tatsuya
岩舘 伸生*1 Nobuo Iwadate

原子炉施設の建設工事及びアフターサービス(After Service:以下A/S)を行う上で,安全かつ短工期で稼働させるには,多種多様な設計要求を実現する建設技術が要求される。更に,安全・品質を高めつつ,業務効率向上や省人化などの合理性も要求されている。当部門では,これらのニーズに応えるため,各種工事で抱えている課題を洗い出し,最新の ICT 技術の情報の収集を行い,実工事への展開に取り組んでいる。本報では,我々の取り組んでいる高度化した建設技術への取組みと実用例を紹介する。

1. はじめに

原子炉施設については,安全・品質はもちろんのこと,法律や国の規制及び設計条件やセキュリティも厳しく,建設工事やA/Sを行う際の作業に対する制約も多い。このため,さまざまな制約を受けながら現地工事を行うにあたり,如何に作業効率を上げながら,省人化できるかが大きな課題となる。一方,昨今は情報技術の発展が著しく,さまざまな情報端末,ソフトウェア等が市場に登場しており,これらのツールを上手く取り入れることで我々が抱えている課題の解決に繋げていくためさまざまの視点で様々な取組みを実施中である。次節以降,我々が現在取組んでいる建設技術の高度化について紹介する。

2. 建設工事とA/Sにおける課題

2.1 通信環境

現地工事の品質向上,短工期の要求に応えるべく,今後,更なる省力化を進めるにあたっては,他分野での導入が進む ICT(Information and Communication Technology),IoT(Internet of Things)の活用が必須の状況である。しかしながら,原子炉施設の主な建屋(原子炉格納容器,原子炉建屋,原子炉補助建屋等)は,耐震性及び放射線防護の観点から厚さ数十～数百㎝の鉄筋コンクリート製,かつ,放射性物質の外部漏洩を防ぐために密閉構造となっていることから,建屋外部との無線通信(携帯電話,無線 LAN 等)が不可能である。現在,原子炉施設内で通常使用可能な通信手段はお客様にて敷設された PHS(Personal Handy-Phone System)回線が中心であり,大容量通信が出来ず,ICT,IoT 導入の大きな障害要因となっている。

2.2 現地納入品管理

原子炉施設の建設工事においては,内作品,購入品(外注品)併せて数万点の物品を現地で受入れ・保管・払い出し管理する必要がある。受入れ時には発送品が記載された出荷明細が添

*1 原子力セグメント建設・保全工事部

付されているものの，記載方法がサプライヤにより異なることや『一式』等の記載でどこに（どの図面で）使用するモノなのか紐づけに時間を要する。また，保管・払い出しについても紙の帳票，単なる電子データでの管理となっておりモノ探しに時間を要している。

2.3 現地計測作業（埋込金物等の据付寸法の計測）

原子炉施設の建設工事においては，建屋コンクリート躯体と配管やダクト等の設備を支持（サポート）するためのサポート鋼材との接続のために，アンカー付きの埋込金物が埋設されることが一般的である。この埋込金物の据付作業は据付，計測，検査の作業に大別される。その中でも検査についてはオートレベル，トランシット等の計測器を使用する作業である。埋込金物の枚数は数万枚にもおよび，計測器の設置には技量が必要であり，また，複数名での作業が必須となることから，莫大な労力を要している。

2.4 配管据付における現地合わせ作業

原子炉施設における冷却材として使用される海水を供給・排出する海水配管は，内面腐食防止等の観点よりライニング（樹脂等で被膜を形成する表面処理）が施工されており，端部はフランジ接続構造となっている。既設配管は製作・据付時の加工や溶接入熱により歪んでいるため，海水配管の修繕工事を施工する場合，部材を現地納入し仮合わせしたものを工場にて仕上げ，再度現地納入・据付する工法（現合管工法）を採用していた。しかしながら，工事に際し仮合わせ・工場加工・ライニング施工に期間要する。また，部材の搬出入が2回発生するため現地リスク及びマテハンコストが大きくなるといった課題がある。

3. 建設技術高度化の適用

3.1 高速 PLC を使用した通信インフラ構築及びそれを利用した工事プロセスの高度化

建屋内の通信インフラを構築するため，“高速 PLC（Power Line Communication）”を用いることとした。PLC とは電力線を通信線として利用できる技術で，近年発売された高速 PLC は，従来の PLC（最大通信速度：数 kbps）と比較してより高速な通信（最大通信速度：最大 210Mbps）が可能となったものである。その最大の特徴は新たに LAN ケーブルを敷設することなく，通信網を構築可能なことであり，建屋外に基地局を設けさえすればキュービクルを介して建屋内に通信回線を敷設することが可能となる(既設の建屋に対しても大規模工事なく導入可能)。そこで，図1に示すようなシステム構成にて，ノイズ環境の厳しい建設中プラントの工事用仮設電源に高速 PLC を取付け 2019 年秋から検証を行った。ノイズ対策機器取付けや通信速度試験により高速 PLC 配置の最適化を行った結果，現地作業の輻輳する時間帯に通信速度が低下する傾向はあったものの，おおよそ 1.1Mbps の通信速度を実現し，更なる通信環境の改善を検討中であるが，現時点に業務で使用しているシンクライアント PC やタブレット端末が社内ネットワーク，システムに接続し支障なく運用できることを確認した。

この結果を受け，現在，この通信インフラを前提とした工事管理システムを開発中であり，文字認識や電子タグ等を利用し，従来は現場作業後の事務所作業として実施していた工事進捗管理や施工記録データの作成を現場でできるように合理化を図る。さらに本システムを設計情報データベースと連携させることで，工事記録と設計情報データを紐付け，原子炉施設で要求される新検査制度へも対応させることを計画中である。

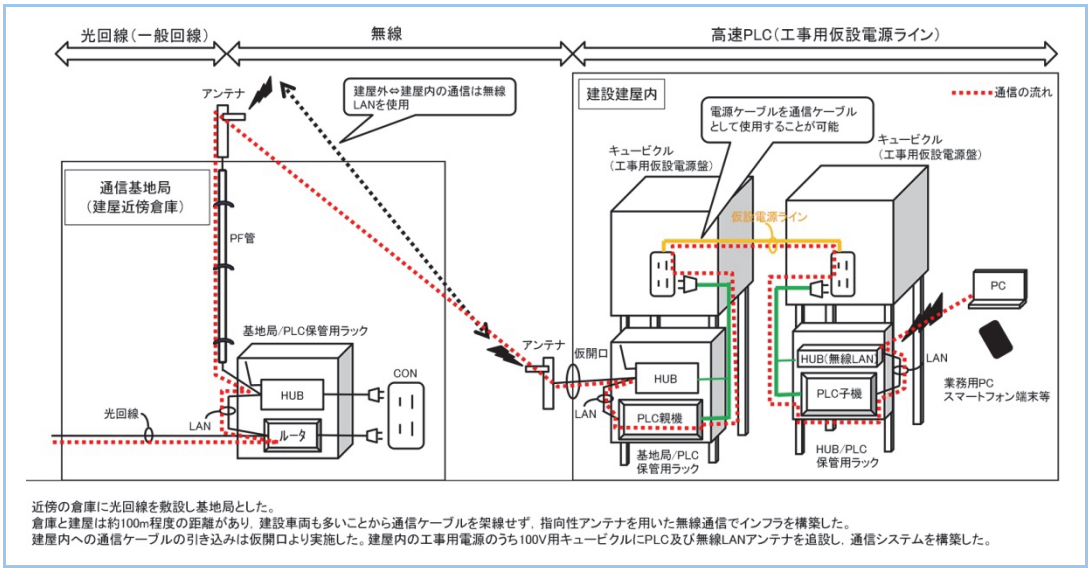


図1　高速 PLC 検証試験　システム構成図

高速 PLC 検証試験時のシステム構成を示す。光回線と接続した基地局と建屋内に設置した高速 PLC がアンテナを介して無線接続され，建屋内ではキュービクルに接続した PLC で通信回線を構築している。

3.2　現地納入品管理システム

これまでの建設工事では，図2に示す通り，据付図，納入時の物品リスト及び現品にそれぞれ記載されている図面番号，部品名等の物品情報に不整合が見られた。そこで，これまで社内設計・現地部門，製作メーカが個別に管理していた物品情報を統一させ，一元管理可能な現地納入品管理システムを構築した。構築したシステムは，図3のフローに示す通り，設計が購入要求書を発行した段階から社内設計・現地部門，製作メーカそれぞれが，必要情報を同一のシステムへ入力することにより，情報の統一化を図っている。必要情報は QR コードを内蔵する IC タグに取り込まれ，発送単位ごとに物品に IC タグを貼り付けて発送される。図4に示すように，タブレットでQRコードを読み込むことで物品と物品情報との紐づけをタイムリーに確認できるようになった。タブレットからは，システム上へ保管場所や払出し先等の情報を登録することができる。設計，製作，受入れ，払出しのステータスを一括して管理することができ，これにより，在庫管理や払出し時の物品探しに要する時間を低減することができた。

また，ファイアウォールで防御された領域にサーバを構築，社外からは多要素認証を用いて接続者を限定しセキュリティ面も強化している。今後は内作品も対応可能とするための範囲拡大と，検収機能を設けるなどシステム改修を実施し，更なる効率化を図る予定である。

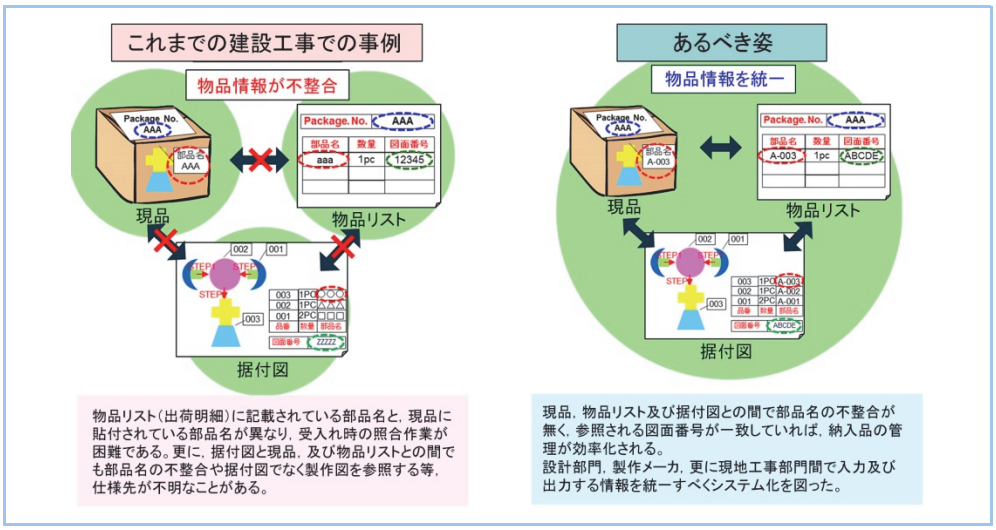


図2　納入品管理の課題

現状の課題とシステム化による効果を示す。現状は，現品と納入時の帳票，図面の記載との間に不整合がある。

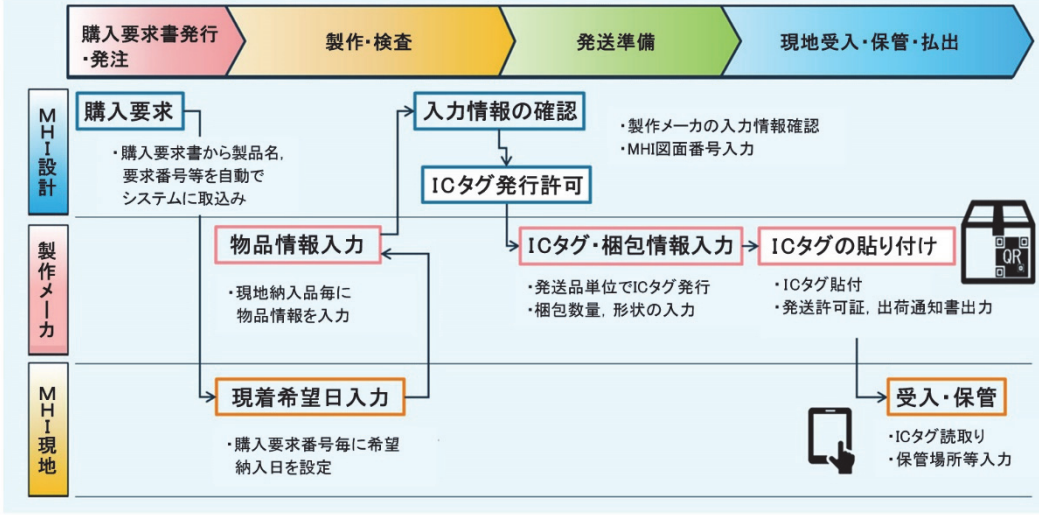


図3　納入品管理システムフロー

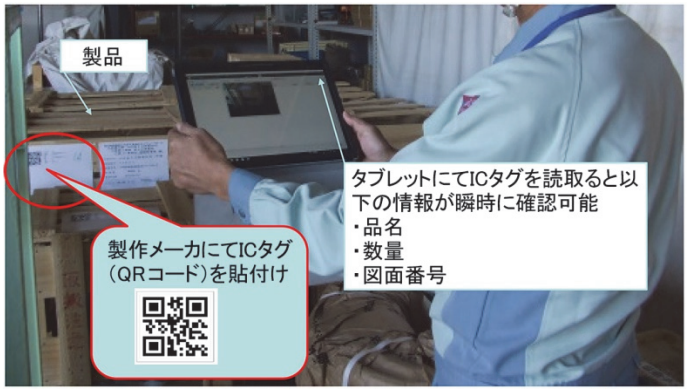
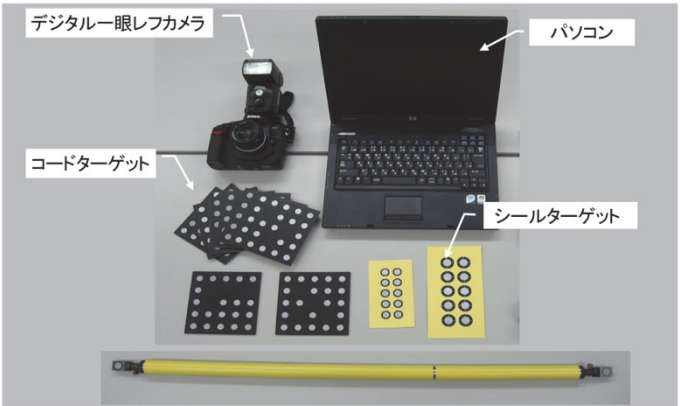


図4　現地受入れ作業状況

IC タグに内蔵される QR コードをタブレットで読み取ることで，製品の必要情報が表示される。受入れ時は IC タグ情報と製品を照合の上，システム上で納入日や保管場所等の情報を入力する。

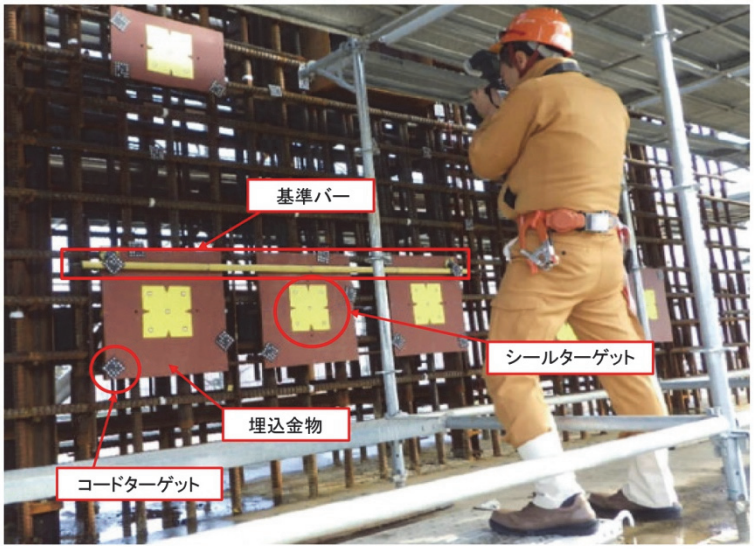
3.3　埋込金物検査へのフォト計測適用

埋込金物の現地計測検査の合理化として，計測作業については三次元計測手法の一つである“フォト計測”の活用について，2018 年より検証を進めており，合理化効果が確認できている。使用するフォト計測用機材について図5に示す。フォト計測は，計測点を繋ぎ合わせる各種ターゲットと写真中の基準寸法となる基準バーからなり，図6のように現場に設置したターゲットと計測対象物とをさまざまな距離・角度から撮影することで行う。撮影画像をフォト計測専用ソフトで解析することにより，同一のターゲットを自動で識別し，計測対象物を三次元座標化することができる。また，フォト計測技術に加え，事前に図面情報をソフトへインプットさせることで，得られた三次元座標と図面上の配置とを比較して，計測結果を帳票として出力可能とする手法である。



名称	備考
コードターゲット	複数枚の写真同士を繋げるために使用
シールターゲット	埋込金物中心等の計測点として使用
基準バー	基準寸法の確認に使用

図5 フォト計測用機材
撮影用のカメラ，データ取込み，解析，帳票出力用のパソコンは一般品である。計測点を繋ぎ合わせるための各種ターゲットと，撮影結果に距離の情報を与える為の基準バーからなる。



フォト計測による撮影状況を示す。各種ターゲットを貼り付けた状態で複数のポイントから写真を撮影し，その写真を繋ぎ合わせることで各ターゲットが座標変換され，寸法計測結果を得ることができる。

図6 埋込金物フォト計測 作業状況

使用するカメラは一般品であり，解析作業にも専門知識・技量を必要としない。また，撮影者一名で計測が可能となり，現地作業量の合理化に期待ができる結果となった。合理化後の適用効果を作業時間の観点で示したものが図7である。既に実工事への適用も進めており，実績を積み重ねるとともに，埋込金物以外の設備への適用も検討中である。

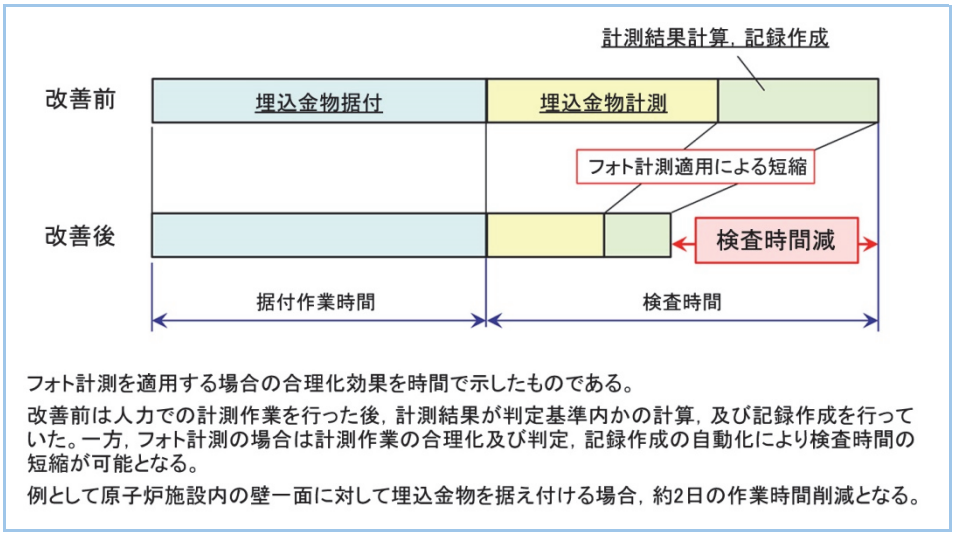


図7　埋込金物フォト計測　適用前後の作業時間

3.4　3D 計測を活用した配管現地据付

従来からある既設管の 3D 計測工法を応用し，計測結果を設計及び製品製作まで一貫して管理することで，現地据付コストを大幅に低減するプロセスを【3D 計測工法】として確立した。手順として，修繕範囲の既設フランジ外周，締付ボルト穴位置等の位置情報を計測し，その結果を図面寸法へ反映する。更に工場製作において，配管ブロックの加工・溶接時に発生した歪を修正することで高い精度で再現された配管ブロックを現地搬入し，取替・据付を連続して施工する本工法採用により，製作誤差を現地据付時に修正するための現合管を使用した【現合管工法】で必要だった仮合わせ，工場返送の工程が不要となり現地工事期間が短縮されるとともに安全リスク及びコスト低減につながる。現合管工法，3D 計測工法の比較を図8及び表1に示す。また図9に3D 計測工法の手順を示す。現在，修繕範囲毎に成立性及びコスト比較などを実施したうえでお客様へ提案・了承を頂き，施工実績を積み重ねている。

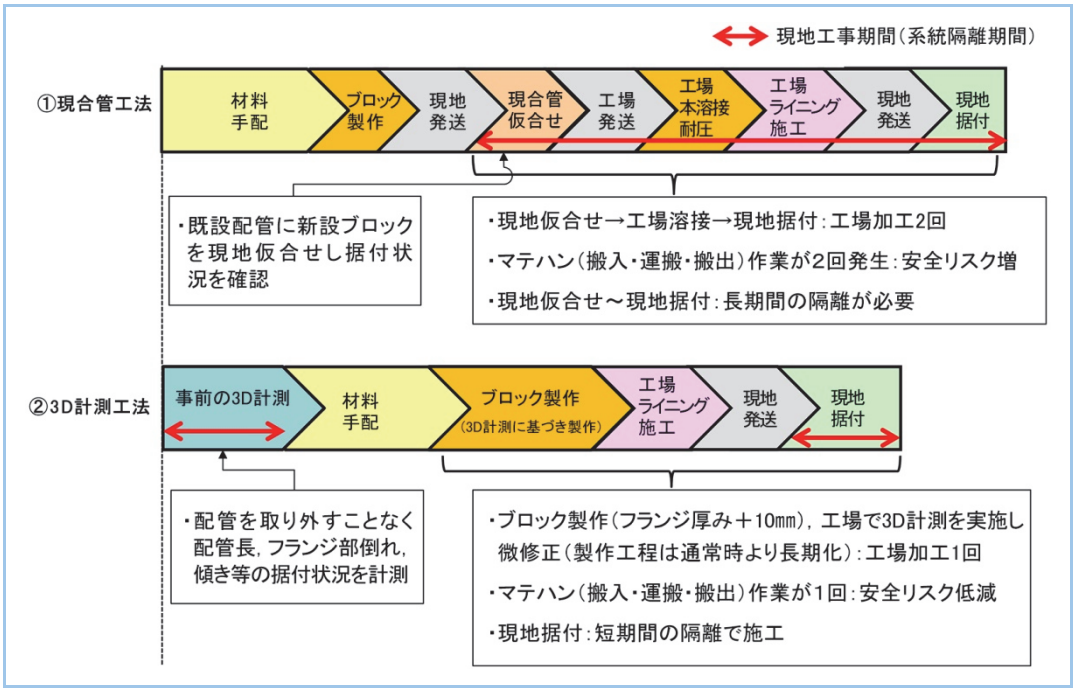


図8　現合管工法と3D 計測工法の比較

表1　現合管工法と3D 計測工法の比較

施工法 / 比較項目	現合管工法	3次元計測工法
①工場製作	△ 工場加工:2回	◎ 工場加工:1回
②安全リスク (マテハン作業)	○ 搬出入2回	◎ 搬出入1回
③系統隔離期間	△ 施工時の隔離期間が長い	◎ 施工時の隔離期間は最小限
適用環境条件	特になし	・計測可能なスペース確保可 ・計測物の振動が少ない(系統隔離) ・壁貫通配管では適用不可
評価	○	◎

相対評価:◎－○－△
良←　→可

これまでの海水管取替え工事では隔離工程・作業性等を踏まえ，適材適所で工法を選択
⇒工事時の工程裕度・作業時の安全裕度確保の観点で3次元計測工法が有利

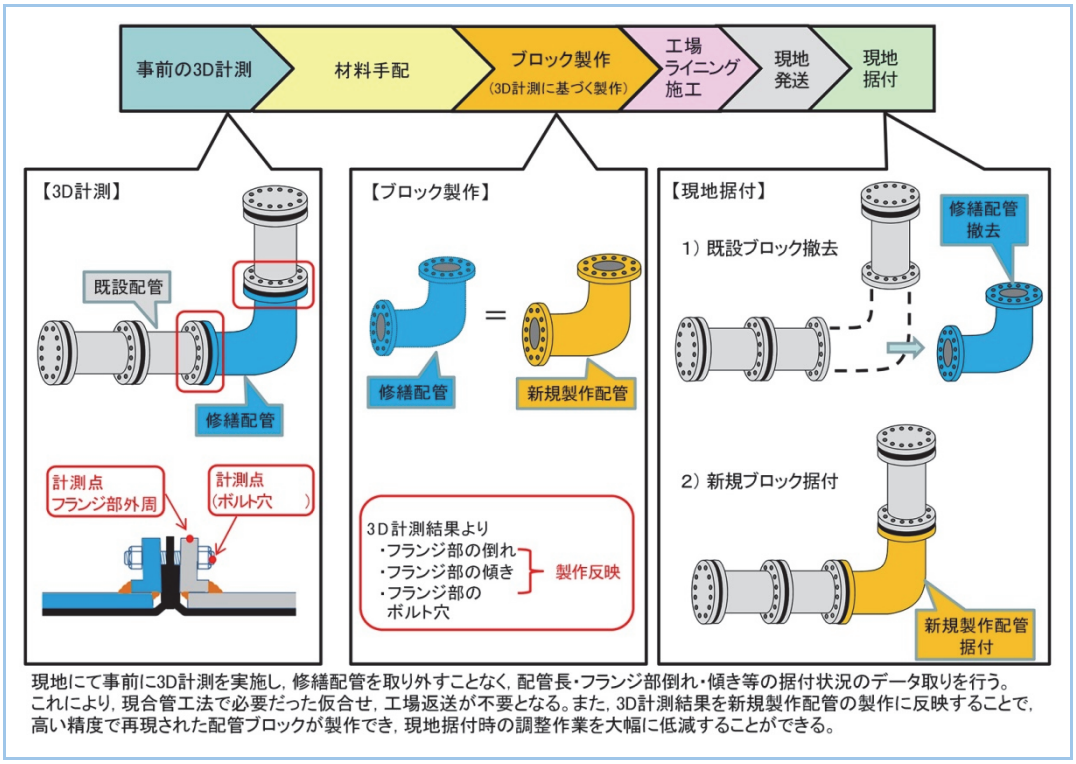


図9　3D 計測工法を活用した配管取替手順

4. まとめ

当社では，原子炉施設の建設工事及びA/Sをより安全且つ短工期で推進すべく，最新の知見を取り入れ建設技術の高度化に取り組んでいる。本報で紹介した取組みは，今後の新設炉における建設工事においても工程短縮や作業効率の向上，省人化に必ず寄与できると確信している。現在実施中のA/S工事を通じて有効性を確認するとともに技術の高度化を行い，今後計画されることが期待される新設工事に向けて，最新情報を入手しながら，新しい建設技術の改革に取り組んでいく。