A209 建設エンジニアリングのビジュアル化

Visualization of Construction Engineering

○岡田 久子（日立製作所） 三浦 淳（日立製作所）

Hisako Okada, Hitachi Ltd.

Jun Miura, Hitachi Ltd.

It is required for nuclear power plant construction to reduce construction cost and shorten construction period. An early and accurate construction planning including schedule coordination among the companies has recently become more important and it is possible to obtain necessary information for construction planning in early stage. In this situation, we have been developing a visualization system for construction engineering for nuclear power plants. This system has an interface with the existing Plant Layout 3D-CAD system and consists of three sub systems: (1) Scheduling and simulation system, (2) Yard planning system and (3) Scaffolding planning system. This paper describes overview of this system. This visualization system is very helpful for construction engineers to easily understand situation and environment around installation area, to easily plan a work sequence and confirm the planned schedule, and it is also effective for customers and workers to understand the planning. As a result, this visualization system enables safety and high quality construction.

Key Words : Visualization, Simulation, Construction, Knowledge

1. 緒言

原子力発電所は安定した安価な電力供給を目指しており各電力会社並びにプラントメーカーは、様々な施策を講じて合理化に取り組んでいる。更に現在、電力自由化という波の中で生き残っていくためには他電源方式に比べ高い建設費の低減が強く求められており、これを実現するためには工事効率の向上と工期短縮が不可欠となっている。このような状況下において（株）日立製作所は下記を基本方針としてプラント建設に取り組んでいる。

- 1) 現地作業量低減と平準化を目的としたプレファブ・モジュール範囲の拡大と先入れ工法の拡大
- 2) 3次元設計データを活用した据付工事の早期最適作業手順／詳細工程計画とそれに基づく図面や製品のJIT化
- 3) 建設現場の電子情報化を図ることによる間接業務の高効率化と的確な作業計画の実行

これら基本方針を達成するためには、建設工事工程計画を中心とした事前建設エンジニアリングの充実が重要であり、これまでも多大なマンパワーを掛けて実施してきたのが現状である。

また、工期短縮に伴い先入れ工法、プレファブ・モジュ

ール工法が拡大したため、建築作業と機電作業の並進が大幅に増加、更に分離発注工事の割合が増えつつあり、顧客である電力会社及び他メーカーとの調整も大幅に増加している。その中で適正な工期を確保しつつ合理的な建設を進めるためには、益々精度の良い計画が求められており、説得性のある計画調整が必要になってきている。

一方、近年のコンピュータ技術のハードウェア、ソフトウェア両面における発達は目覚しく、ITを利用し計画業務の効率化、精度向上を目指す必要性が高まってきている。そういった中、3次元設計データを有効に活用し、シミュレーション等各種コンピュータグラフィックの最新技術を駆使した建設工程／手順の可視化やインターネット等の通信技術を利用し他社とのデータ交換を実施することにより、計画業務、調整業務の効率化、精度向上、スピードアップが可能となってきている。

そこで、従来より設計で用いている3次元CADシステムをベースに各種建設エンジニアリングのビジュアル化システムを計画開発中であり、その内容と実プラント計画に適用した内容について以下に報告する。

2. 建設計画業務とビジュアル化

原子力プラントの建設計画は、大きく工程計画、搬入計

画及び仮設計画に分類できる。着工の5～6年前から工程計画を中心に計画がはじまり、技術と豊富な経験を持つ技術者が、顧客、土木／建築会社並びに他メーカーとの調整を図りながら基本計画から詳細計画へ進めていく。しかしながら、従来下記の理由により技術と豊富な経験を持つ技術者をもってしても、多くの調整を繰り返す必要があり、計画の最適化を図るには多大なマンパワーがかかっていた。

- 1) 最適な計画立案には精度のよい設計情報が必要
- 2) 実績、経験がベースとなり計画に個人差が生じる
- 3) CADシステムと計画システムとの連携がとれていないため作業効率が上がらない

更に、近年熟練技術者、現場経験者が年々少なくなってきたおり計画に当たって、現場イメージの再現が求められている。また、JITの思想より現地工程に合せた図面・製品の現着には、早期に設計工程、製造工程と調整された、精度の高い現地工程計画が要求されてきている。そういった背景のもと、設計3次元CADデータを有効に活用し、コンピュータグラフィック技術を応用したビジュアル化システムが必要となってきた。

先にも記載した通り建設計画は大きく工程計画、搬入計

画及び仮設計画に分類できる。その業務の内容を良く調べるとビジュアル化の観点からは下記のようにその業務に即したビジュアル化の方向性で分類できると考えている。

- (1) 動的シミュレーションを必要とするもの
工程計画や搬入計画のように計画した内容を、ビジュアルに作業手順を確認しながら実施するもの
- (2) 動的シミュレーションは不要であるが3次元のエンジニアリングが必要なもの
配管仮置き計画のように本設計データを利用して、移動、回転しながら3次元エンジニアリングを実施するもの
- (3) 現状の3次元CADシステムを利用するもの
仮設埋込金物・スリーブ計画、仮開口計画、仮設配管計画等は本設製品と同様、現状の設計を実施している3D-CADシステムで実施可能と考えられるもの
- (4) 3次元のビジュアルエンジニアリングが必要無いもの(機器配置図等2次元上で計画、作図する業務)

図1 に建設計画の分類とそれぞれの業務に対する上記したビジュアル化の方向性についての分類を示す。

Fig.1 Organization of Construction Engineering

3. 建設ビジュアル化システム

前章で述べた分類に従い、本システムは業務により大きく以下の3つのシステムから構成されている。

- (1) 工程計画システム
- (2) ヤード計画システム
- (3) 仮置き、足場計画システム

本論では、これら3つのシステムの概要を以下紹介することとする。

3.1 工程計画システム

本システムは工程計画の上流から下流まで一貫して計画するシステムであり、サブマスタースケジュールレベル、工事区画別工程レベル及び3ヶ月・3週間工程レベルのシステムに区分されている。全体概要を図2に示す。それぞれのシステムが3D-CADと連携を取り、必要なデータの受け渡しを実施している。また、本システムは、既に実プラントの建設に適用している日立建設システムとも連携しており、先行プラントの計画/実績データが蓄積され、プラント計画時に有効に活用できるしくみが出来上がった。以下、各々のシステムについての説明する。

Fig. 2 Overview of Scheduling System

3.1.1 サブマスタースケジュールシステム

サブマスタースケジュールは、顧客提出図書として着工約1~2年前ぐらいから調整、作成が開始される。本工程の目的は、着工~運開までの全体工程にわたり、各工事間及び試験の工程確認並びに顧客を含めた他社間のインターフェースを明確化するものである。

本システムの特徴は、以下の通りである。

- (1) 機器データ及び建築工程データに基づき半自動で工程を作成出来る
- (2) 作成した工程データを下流工程と連携出来る
- (3) 作成した工程データと3D-CADの図形データと連携を取り、全体のシミュレーションが出来る

今回、中部電力(株)殿浜岡原子力発電所第5号機における計画で、(株)竹中工務店殿と協働して工程シミュレーションを作成した。作成したアニメーションの静止画例を図3に示す。建築打設工区の進捗にあわせ、機器類の先入れ状

況を表現している。本例は、実際のサブマスター工程説明会に使用し、機器の先入れ、建築作業との並進作業増加並びに全体建設の進め方の理解促進に大いに役に立つことが確認できた。

Fig.3 Sample of T/B Construction Simulation

3.1.2 工事区画別工程システム

工事区画別工程は、建屋を平面的に区分した実際の工事が行われる工事区画(以下、エリアという)単位の工程であり、現地建設所が開設される前までに検討、作成している。本工程の目的は下記の通りであり、現地実施工程の基本工程と位置づけている。

- ①機械工事、電気工事及び空調工事間の整合性を取り、最適な作業手順、工期の決定
- ②現地製品納期の決定
- ③各エリアの完了時期の明示

従来、本工程は各工事担当の熟練技術者が3D-CADの当該エリアのレイアウトを確認しながら据え付け手順をイメージし、手順調整を行い工程表としてまとめ、作成してきた。本システムは、従来の問題点を解決した、以下の特徴、機能を持つ。

- (1)工程アクティビティに合致した3D-CADデータの統合と分割機能
- (2)CAD画面内における工程情報作成機能(作業手順、作業期間)
- (3)社内工程システムとのインターフェース機能
- (4)作成工程に基づくアニメーション機能
- (5)作成手順決定根拠、施工注意事項等の入力、蓄積機能

本機能により計画者が3次元レイアウトを見ながら、直接作業手順を定義し、工程を作成することができるようになり、作成した手順がすぐ画面上で再現できることより、確実な検証と精度の高い計画が実現できる。また、手順決定理由、注意点が残せることにより、計画者の引継ぎあるいは現地作業員に対して確実な計画意図の伝達が可能となる。

更に、従来各工事担当が3D-CAD前に集まり調整、再度持ち帰り検討を繰り返していたが、他工事の手順をビジュアルに参照しながら担当分の工程検討、調整ができるようになりコンカレントな工程計画業務が実施可能となる。図4に本システムの画面例を示す。画面上の計画対象物を確認しながら、3D-CADレイアウトを表示し、手順検討を実施する。

Fig.4 Sample of Area Schedule System

The left side of this figure is the 3D-CAD plant layout and

the right side shows component's names of the left side one. This system enables the engineer to decide the installation sequence with viewing and handling the 3D-CAD plant layout on a screen.

3.1.3 3ヶ月・3週間工程システム

3ヶ月・3週間工程は、現地の実施工程であり毎月、毎週ルーチン業務として作成されている。本工程は、前節で述べたエリア別工程を基本として展開され(ブレイクダウン機能)、逆に週間工程の実績は、上位工程に反映される(ロールアップ機能)。本機能により、修正作業並びに転記による間違いを低減し、作成業務の効率向上に寄与している。図5に本機能の概念を示す。

Fig.5 Concept of BREAK DOWN & ROLL UP function

また、本システムは、建設現場で運用されている日立建設システムと連携しており、作業工程にマッチした作業指示、立会依頼及び実績回収を実施している。将来的には、本実績データをビジュアルな進捗管理につなげる計画である。また、更なる効率向上を図るため、現在建築工事工程とのデータ交換を実施する予定である。具体的には、建築工程の中で作業する埋設工事、先入れ工事及びエリア引渡し前の先行工事工程を対象として実施する。

3.2 ヤード計画システム

ヤード計画システムは、様々な構築物が錯綜する建屋周辺部の計画を効率的に実施するものであり、下記サブシステムから構成されている。

- (1)ヤード全体計画
- (2)大型揚重機計画
- (3)大物機器搬入計画

(1)は従来、ヤードステップ図と称して2次元的にヤードの状況を計画していたものを、初期掘削形状から順次ヤード構築物が出来上がっていく過程並びに埋め戻しの状況更には本館周辺部の仮設ヤード使用状況を一元的に表示、シミュレーションを可能とするシステムである。(2)は、特に大型クローラークレーンの稼働状況をシミュレーションし、

最適な稼働位置、稼働範囲を計画できるシステムである。
(1)(2)については現在詳細計画を実施中であり、本節では(3)について以下説明する。

大物機器搬入計画は、原子力発電所を構成する主要大物機器の輸送／搬入／据付方法を計画するものであり、プラント全体工程に影響を与えるため、計画初期段階より顧客、他社と調整の上決定していく。本システムは構内のヤード状況を再現し、構内輸送状況並びに搬入状況を確認することが可能となり、その結果をアニメーションとして再現することもできる。アニメーションは視点の変更等により、多角的問題の有無を検討することができる。本システムは、既存の景観CADシステムと連携をとっており、建屋周辺状況の入力作業の効率化を図っている。

また従来は、手作業で紙芝居的に各々の機器搬入要領図をステップ毎に作成していたが、本アニメーションにより視覚的に全体計画、状況が把握でき、工法に対する理解度が深まり、工法レビュー会等で活用でき、関係者にも好評である。本システムで作成したアニメーションの静止画例を図5に示す。本図は原子力プラントの最重量物である原子炉圧力容器(RPV)を大型クローラークレーンを使用して搬入、吊り込みをしている状況を示す。

Fig.5 Sample of Large Equipment Installation Planning System

This figure shows the RPV installation using heavy lift crawler crane.

3.3 仮置き、足場計画システム

先入れ搬入対象物の範囲及び数量の増加に伴い、事前の先入れ計画が必須となり、先行プラントにおいては、CAD出力図の切り貼りあるいは手書きにより多大な労力をかけて全エリアに対して先入れ計画図を作成していた。本システムは、先入れ計画図作成の省力化と建築施工会社との事前調整(足場位置調整、足場共用化調整、足場ばらし範囲調整等)及び先入れ品の後続作業(仮吊り、開先合せ)の効率化を目的に開発したものであり下記機能を有する。

(1)先入れ、仮置き計画機能

3D-CADの現地搬入単位の詳細データを移動、回転、位置指定等により先入れ後の据付順序を考慮した仮置き位置を決定する

(2)仮設足場計画機能

建築足場、機電用足場の作成、移動、複写等により共用化、盛り替え最小となる足場計画を実施する

(3)図面作成機能

上記で決定した計画を、先入れ計画図及び仮設足場計画図として出力する。また、自動寸法線、仮置き対象物一覧表作成機能を持つ

作業者は本図に基づき先入れ作業及び足場設定作業を実施しており、図面を直接の作業指示として使用している。本システムの画面表示例を図6、7に示す。図6は、先入れ機器の養生と足場を兼用したステージを計画したものを示す。図7は、先入れ機器及び躯体壁、施工用足場と干渉しないよう先入れ配管を仮置きした状況を示す

Fig.6 Sample of Scaffolding Planning System

This figure shows the stage arrangement plan which is used as both scaffolding and protection from fall objects.

Fig.7 Sample of Scaffolding Planning System

This figure shows temporary location plan of installed piping, which is laid so as not to interfere in equipment, wall and scaffolding.

4. 結言

原子力発電プラントの建設計画に3D-CAD、コンピュータグラフィック技術をはじめとする最新技術を取り入れた新しい計画手法である建設エンジニアリングのビジュアル化についてその計画内容と一部成果について記してきた。本システムと現在すでに開発済みであり、実機へ適用中の日立建設システムと効果的に結び付けることによって建設の計画から管理まで一貫した日立統合建設システムとして完成させ、以下に記す効果を期待している。

- (1) 3D-CADで計画されたデータを有効に活用し、早い段階で効率よく計画が立案できる
- (2) 各種シミュレーションにより多角的な検討ができ、計画精度の向上ができ、現着要期厳守に伴うジャストインの物流管理が可能となる
- (3) 手順決定根拠の蓄積、活用により下流側計画者への一貫した計画の継続実施が可能となる。また、技術伝承の一助として熟練技術者のノウハウ習得ができる
- (4) シミュレーション機能による現地作業前トレーニング、教育が可能
- (5) 計画のビジュアル化により、顧客及び他社に対する計画内容の理解度向上に伴う調整業務の効率化が可能

以上により、プラント建設計画の業務効率向上が図られ、現地においても工程の精度向上に伴う作業効率向上が期待できるものと考ええる。更なるユーザインターフェースの改善、レイアウト計画と建設計画の同期化を図り、日立統合建設システムとしての完成を目指し、原子力プラント建設の安全性及び信頼性向上に寄与したいと考える。

文献

- (1) 好永、外:原子力発電プラントコンストラクションCAEシステム, 日立評論, VOL.72, No.10(1990-10)