

小特集 建設施工にかかわるシミュレーション技術 建設技術のシミュレーション技術

バーチャルリアリティ技術を利用した原子力発電所工事 —建築/機電間コラボレーションの実施—

田中 幸一郎・中村 尚弘・得平 洋史・川端 稔・砂川 定男

中部電力株式会社浜岡5号機原子力発電所タービン建屋建設工事では、3次元CADを活用して建築工事と機電工事相互の工程調整を実施した。工程の進捗状況をビジュアルに確認することが可能となり、建築/機電間の工程調整ツールとして精度の高い施工計画立案を実現することができた。工程データ交換では、週間・月間工程表に記載される工程情報を電子データで交換し、同一紙面上に建築/機電双方の工程を出力して工程調整会議での運用を図った。本報文では建築/機電工事間のコラボレーションの概要について紹介する。

キーワード：コラボレーション、施工計画、シミュレーション、3次元CAD、データ交換

表-1 浜岡5号機タービン建屋の工事概要

工事名	浜岡原子力発電所第5号機タービン建屋建設工事
建設地	静岡県小笠郡浜岡町佐倉5561
炉型式・出力	改良沸騰水型（ABWR）、138万kW
建築面積	8,028.95 m ²
建屋工期	平成11年12月～平成16年2月

1. はじめに

原子力発電所建屋は重要な機器・配管類が高密度に配置されており、放射線遮蔽のため厚い壁床で構成されている。このため躯体工事を進める途中で大型機器や配管を設置していく施工工程となり、建屋躯体の建設を担当する建築工事と内部に配置される機器類を担当する機電工事の相互の施工手順が複雑化している。近年は高い生産性を得るために工事効率の向上及び工期短縮が必要条件であり、両者のインターフェースを改善することが非常に重要な課題となっている。

そこで株式会社竹中工務店と株式会社日立製作所で中部電力株式会社浜岡原子力発電所第5号機タービン建屋建設工事（以下、浜岡5号機と記す）にあたり、建築/機電相互が保有する3次元CAD情報及び工程情報を有効に活用する手法について検討を行い、情報共有による建築/機電工事間コラボレーションを実施した。

2. コラボレーション実施の背景

（1）浜岡5号機タービン建屋の工事概要

浜岡5号機は中部電力株式会社が建設中の改良沸騰水型軽水炉の原子力発電所で、平成17年1月に営業運転を開始する予定である。タービン建屋の工事概要を表-1に示す。平成15年8月現在で建屋躯体工事はほぼ完了し、内部機器の据付け、調整を行っている。

（2）建築/機電インターフェースの改善

従来、原子力発電所建設での建築/機電工事は図-1左欄に示すようにそれぞれ独立して設計・施工計画が進められてきた。

設計・施工計画期間中に両者間での調整は行われるものの詳細なレベルまでカバーすることは困難であり、実際の施工に入ってから調整で変更が発生し手戻りとなるケースも多々見受けられた。

浜岡5号機については前工事と比較して狭隘敷地での施工、短工期、機器の高密度配置等の建設条件により、建築/機電間の認識相違による工事の手戻りや工程調整に要するマンパワーの増大が懸念された。

こうした要因より3次元CAD情報を用いて建築/機電間コラボレーションを実施することとした。これは図-1右欄に示すようにプロジェクトの初期段階で建築/機電双方の設計・施工情報を一元化し、相互の設計・施工計画の整合性を確認することが目的である。

（3）システム構成の概要

長期間にわたるデータメンテナンスやソフトウェア技術進歩に柔軟に対応できるようコンポーネント（部品）指向のシステム構成とした（図-2）。システムの

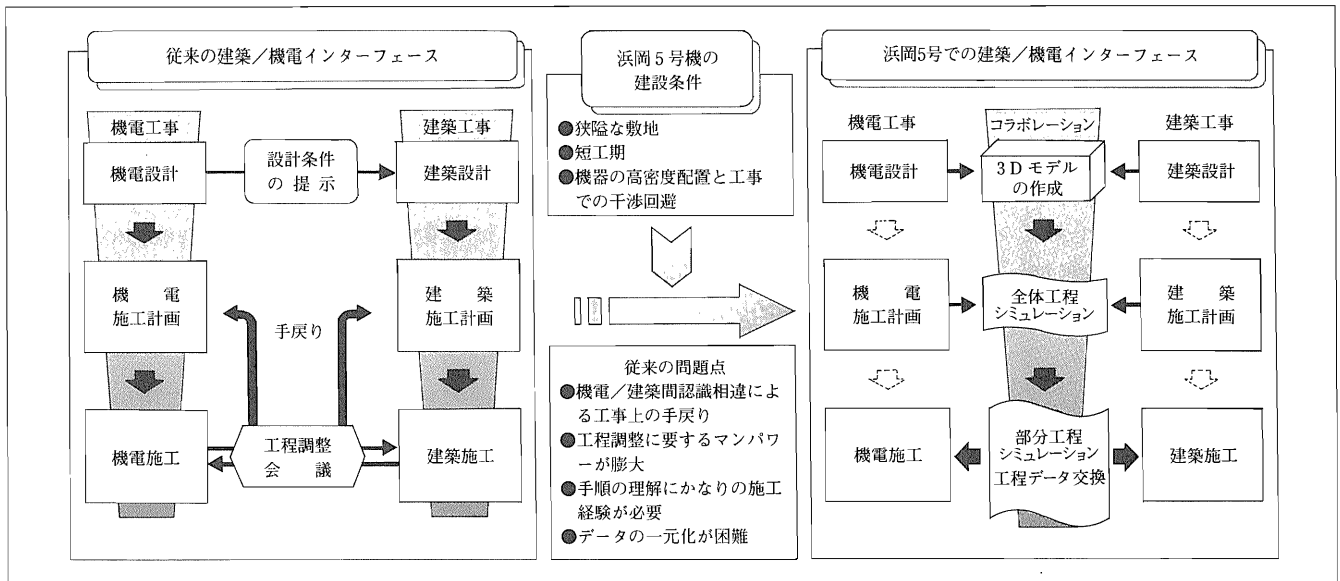


図-1 建築/機電インターフェースの改善

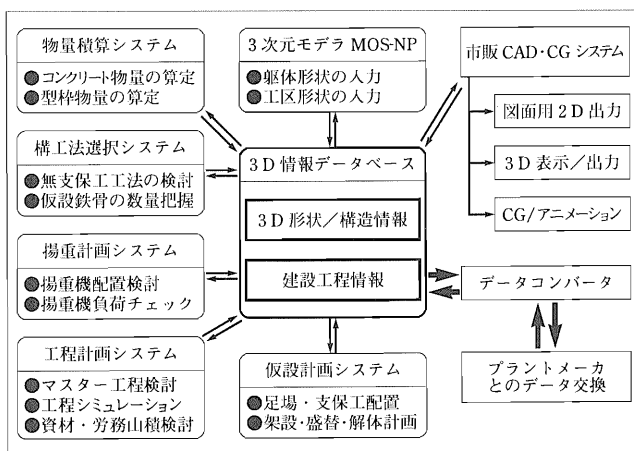


図-2 システム構成

減した²⁾。作成した3次元モデルは市販CADソフトに取込むことが可能である。

3. コラボレーションの実施内容

(1) 全体工程シミュレーション

全体工程シミュレーションは3次元表示での動画(アニメーション)を利用して着工から竣工までの工程をビジュアルに表示する機能を有する。図-3に工程シミュレーションのフローを示す。

建築/機電双方から持ち寄った躯体、機器、工区形

開発期間およびコストの削減、変化への対応力向上の点で有効な方法である。3次元形状データおよび工程情報を中核に置き、

- ・物量積算
- ・構工法選択
- ・揚重計画
- ・工程計画
- ・仮設計画

等のサブシステムと連動を図っている。3次元形状データおよび工程情報はテキスト形式とし、各サブシステムや市販ソフトのバージョンアップに対応可能な仕様とした¹⁾。

躯体3次元データの作成は開発ソフトである専用モデラMOS-NPを利用した。本モデラは通芯交点を基準とした相対アドレスでのデータ形式を取り、「建築的常識」を備えることで主要な部材を自動発生させる機能を有し、3次元データ入力の作業負担を大幅に低

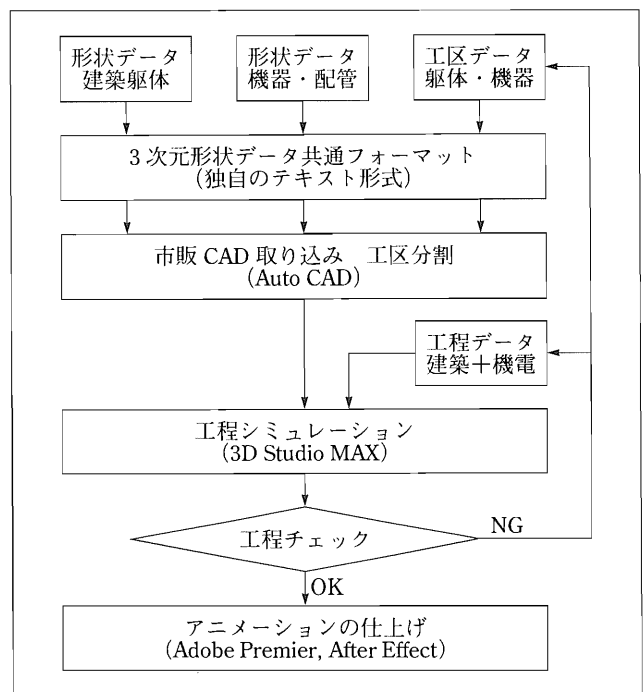


図-3 工程シミュレーションのフロー

状に関する3次元データを共通フォーマットに変換しCAD上に取り込む。CADソフトの機能を利用して、工区を示す3次元空間内に含まれる躯体・機器データを自動的に取り出し工区別データを作成する。

工区別データ毎に工程情報として作業開始日、終了日、表示方法(3次元オブジェクトの色変化および落下・横移動等)を関連付け、工程の推移を動画として表現する。出来上がった全体工程アニメを視覚的に確認し、工事上の不整合がないかを確認する。

工程に不整合が見られる場合は工区分割や工程計画に戻って修正を行った。また、建屋躯体・機器等の本設物以外に工事中に利用する主な仮設物(揚重機、構

台等)の架設、撤去を表現し、概略の全体仮設計画も含めた確認が可能となるようにした。

工程のシミュレーションフローの中で、工区別のデータ分割は3次元CADソフト(AutoCAD)、工程アニメの作成はアニメ作成ソフト(3D Studio MAX)、アニメ仕上げは動画編集ソフト(Premiere, After Effect)等の市販ソフトを活用することによりシステム開発を効率的に行った。

図-4に浜岡5号を対象として作成した全体工程シミュレーションの一部を示す。本検討に用いたシステムはエンジニアリングツールとしての利用を前提として開発したもので、工程期間変更、作業手順組替え、工区分変更などパラメトリックなケーススタディに対応できる。

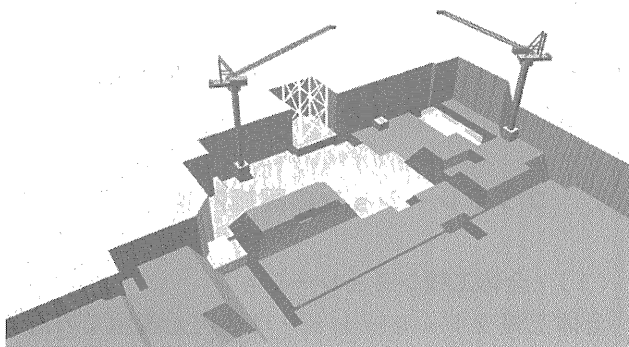
従来こうした調整を行うためにはかなりの発電所施工経験を必要とし、建築/機電間で相手方の工事内容を詳細まで理解するために大変な努力を要していた。本シミュレーションでは施工過程をビジュアルに確認することができることから、建築/機電間で同一の施工段階イメージを共有することが可能となり、整合性の取れた極めて精度の高い事前計画を立案することができた。

(2) 部分工程シミュレーション

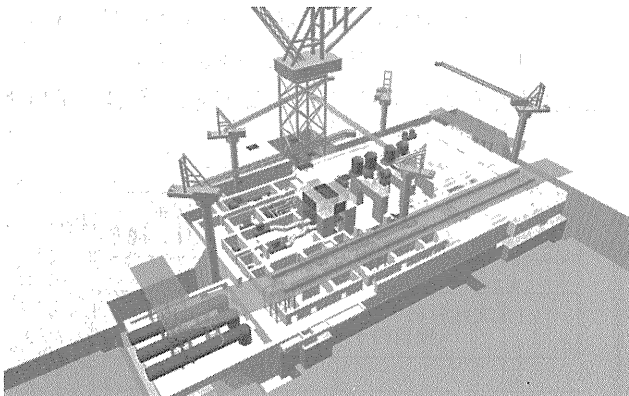
部分工程シミュレーションは施工を目前に控えた詳細な調整用として開発したものである。個別工区での建築と機電の干渉調整がターゲットで、全体工程シミュレーションで使用した3次元形状データにより詳細な情報として建築工事用の足場配置や先行搬入される機器、配管位置、形状を追加し施工状況を表示した。

グラビヤに代表的なシミュレーション例として地下2階の機器搬入事例を示す。壁面に沿って配置された躯体工事用足場と先行搬入する機器、配管について、3次元データを合体させ干渉をチェックし最適な仮設材配置計画や盛換え計画を行うことができた。これまで工事前に建築/機電間の施工手順を詳細に調整することや、先行搬入される機器、配管のサイズや仮置形状を正確に機電側から建築側へ伝えることは非常にマンパワーを必要とした。そのため必要以上の範囲の足場を解体してしまったり、解体範囲が不十分で干渉が回避できなかったりという無駄や手戻りが少なからず発生していた。本シミュレーションを利用することにより、作業を実施する事前にビジュアルに仮設配置や機器搬入状況を確認することができ、工事の手戻り・無駄をなくすことができた。

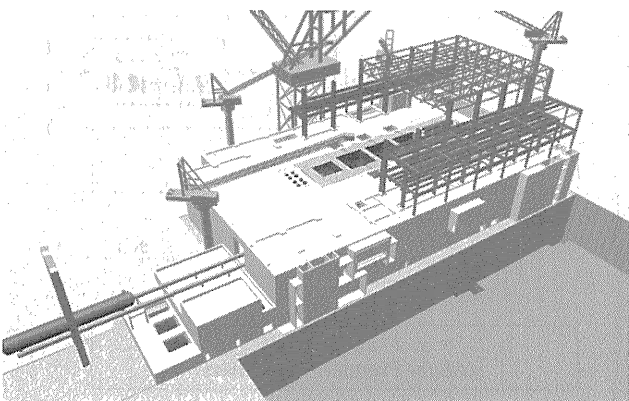
グラビヤにタービン架台の例を示す。タービン架台



①2000年5月 マンメイドロック打設, 揚重機設置



②2001年2月 1F床躯体工事, B1F機器搬入



③2002年2月 上屋鉄骨建方, 湿分離加熱機搬入

図-4 全体工程シミュレーションの例

は発電所の心臓部であるタービン発電機を設置するための大型構造物であり、コンクリート・鉄筋ともに膨大な物量を有する。一方、復水器（タービンを回転させた水蒸気を冷却凝縮する機器）という大型機器が架台下部の柱間に設置されるため建築/機電の施工手順が非常に複雑な部位である。

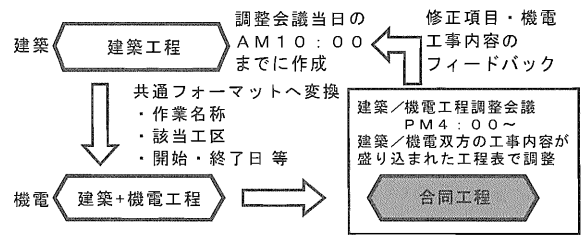


図-5 工程データ交換のサイクル

(3) 工程データ交換

現場の週間・月間工程表を電子情報として交換することでデータ入力作業の重複削減、建築/機電間の情報伝達の円滑化など工事管理業務の合理化を図った。従来建築/機電間の現場での工事調整は相互の工程表を印刷物で提出しあい、紙面を追いながら行われていた。工事最盛期には工程表が数十枚にもわたり、互いに関連する建築作業と機電作業とを照合し整合性をとるのは大変な業務であった。

工程データの交換項目は、作業ID、作業名称、工程種別、工区、作業開始日、作業終了日等とした。作業IDは工程データ個々にユニークなIDナンバーをつけることとし、前回データからの変更は本IDをキーとして自動判別することとした。

図-5に工程データ交換のサイクルフローを示す。工程調整会議の当日AM10:00までに所定のフォーマットで記載した工程データを電子メールで建築側から機電側へ送付する。機電側では受理したデータをシステムへ取込み、建築工程と機電工程を合体させ合同工程表とする。PM4:00からの工程調整会議はこの合同工程表を参照して行われる。

合同工程の実現にあたり、建築側と機電側の工区区分が異なるため以下のデータ交換のルールを設定した。

- ① 躯体工事（機電側の工事種別は青塔工事・埋設工事）については建築側の工区区分に従って記載する。
- ② 仕上げ工事（機電側の工事種別は先行工事）については機電側の工区区分に従って記載する。

これにより建築/機電相互の工程の関連性をシステム上で自動的に認識可能なものとし、合同工程表として出力可能なシステムを構築した。なお、合同工程表自動作成については機電側システムで処理を行った。図-6に示すように各工区毎に建築工程、機電工程の順に自動的にデータを並べ替えて表示されるようにした。合同工程表では同一工程表内に建築/機電の関連性の強い工程が並ぶため非常に分かりやすくなった。また、従来、機電工程では建築工程からの流れを示すために建築工程の一部を再入力していたが、そうした作業がなくなり入力の手間や間違いを削減でき、情報の一元化や書類の削減にも貢献できた。

PROJECT		T/B 3週間建設工事工程表 (埋設工事)		作成年月日	01.01.16	浜岡原子力発電所5号機建設所	SR.NO	3/10																						
中部電力株式会社 浜岡原子力発電所第5号機																														
NO	工 事 項 目	2001														備 考														
		1月							2月																					
		日	月	火	水	木	金	日	月	火	水	木	金	日	月	火	水	木	金											
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	3.T1B壁	柱 壁配筋																												
2	B1W-1-1	開口補強 埋金 スリーブ ラス																												
3		型枠 セバ CON 打継処理																												
4	1) P&D 配管据付	P/T																												
5		FU,WD																												
6	2) 特殊金物他	墨出し 搬入 設定														SO2 9枚														
7	3) 仮設配管	FU,WD																												
8	B1W-1-2	定場 柱 壁配筋 開口補強 埋金 スリーブ ラス																												
9		型枠 セバ CON 打継処理型枠 解体																												
10	1) P&D 配管据付	墨出し 搬入																												
11		P/T																												
12		FU,WD																												
13	2) 特殊金物他	墨出し 搬入 設定														SO4 6枚														
14	3) オフセットダクト	墨出し 搬入 設定														2本														
15	4) 仮設配管	FU,WD																												

図-6 合同工程表の一例

4. おわりに

原子力発電所建設工事における建築/機電間のコラボレーションについて適用システムの概要、コラボレーション内容とその効果等について述べた。

3次元CAD情報・工程情報を盛込んだシミュレーション手法適用により工程の進捗状況をビジュアルに確認することが可能となり、建築/機電間の工程調整ツールとして精度の高い施工計画立案を実現することができた。また工程情報を電子データで交換することにより、工程情報の一元化、入力作業の重複回避を図ることができた。

謝 辞

本報告の発表に快く御了解いただきました中部電力株式会社に謝意を表します。

JCM A

《参考文献》

- 1) 中村尚弘, 田中幸一郎: 原子力などエネルギー関連施設を対象とした3次元CADシステムの開発, 原子力工業, 1997年10月号, pp.56-61
- 2) 田中幸一郎, 他: 大規模工事における躯体工程シミュレーションシステムの開発(その1) システム開発のニーズおよび3次元モデラの開発, 日本建築学会大会梗概集, No. 8126, 1994
- 3) 田中幸一郎, 他: 原子力発電所工事での建築/機電間コラボレーションの実施, 日本建築学会第17回建築生産シンポジウム, 2001

【筆者紹介】

田中幸一郎 (たなか こういちろう)
株式会社竹中工務店
エネルギービジネスプロデュース本部
課長



中村 尚弘 (なかむら なおひろ)
株式会社竹中工務店
技術研究所
主任研究員



得平 洋史 (とくひら ひろし)
株式会社竹中工務店
エネルギービジネスプロデュース本部



川端 稔 (かわばた むのる)
株式会社竹中工務店
浜岡原子力発電所5号機作業所
所長



砂川 定男 (すなかわ さだお)
株式会社日立製作所
浜岡建設所
副所長

