

# INVITED PAPER

## THE SCOPE AND ROLE OF INFORMATION TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION

**Martin FISCHER<sup>1</sup> and John KUNZ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Associate Member of ASCE, Ph. D., Assoc. Professor, Dept. of Civil and Env. Eng., Stanford Univ., and Director, Center for Integrated Facility Engineering (Terman Eng. Ctr., 380 Panama Mall, Stanford, CA 94305-4020, USA)  
E-mail : fischer@stanford.edu

<sup>2</sup> Ph. D., Sr. Research Scientist, Dept. of Civil and Env. Eng., Stanford Univ. and Executive Director, Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) (CIFE, Building 550, 416 Escondido Mall, Stanford, CA 94305-4020)  
E-mail : kunz@stanford.edu

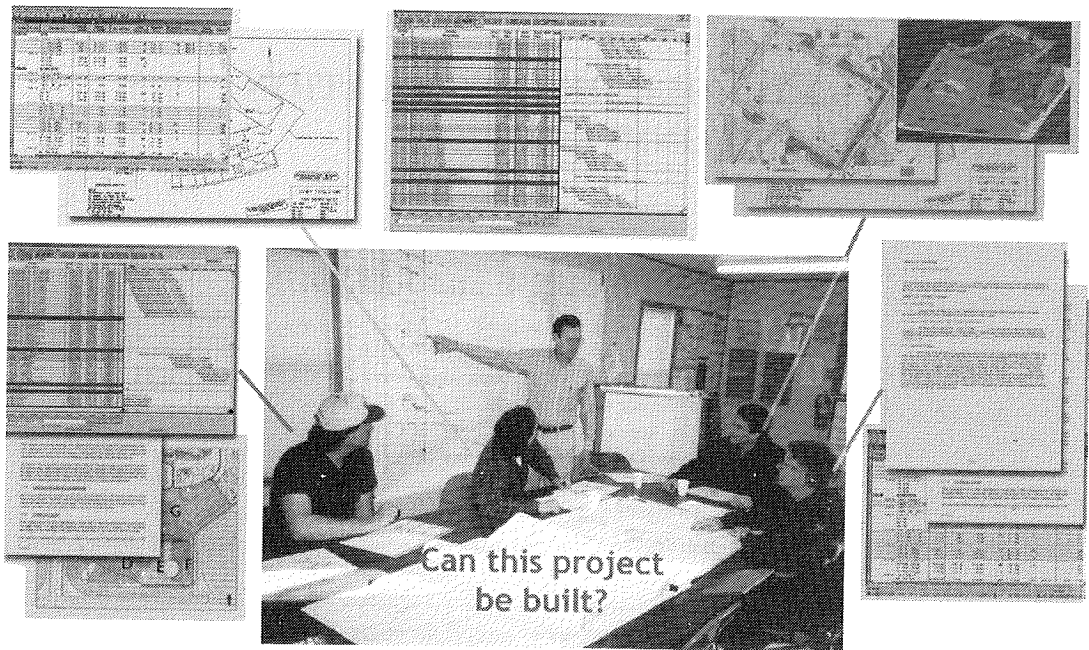
**Key Words :** *virtual design and construction, information technology, product modeling, process modeling, simulation*

We present the case for information technology to support the design, construction, and operation of capital projects through the concurrent and integrated use of formal and visual computer models of the physical project scope, the organization carrying out the project, and the process that will deliver the facility. We call this approach to design and manage a project Virtual Design and Construction. We review several commercial and research prototype software tools that provide some of the functionality needed for Virtual Design and Construction and summarize benefits firms are achieving today from the use of these tools.

### 1. CURRENTLY PREVALENT SCOPE AND ROLE OF IT

To set the stage for the points in this paper we first summarize current use of information technology (IT) in construction. The last twenty years have seen dramatic improvements in and widespread use of IT to describe and document the work of the many disciplines involved in construction projects. Today, practically all project information is entered into software tools or generated by computer programs and is represented in the many different formats used by the many disciplines involved in a project. The software tools tend to be general purpose tools like spreadsheet and text processing software or specialized, discipline-specific tools like mechanical CAD programs or cost estimating software. As shown in **Fig. 1**, the formats commonly used to represent information in construction include text documents, 2D and 3D drawings, schedules in bar chart and other formats, various diagrams and charts, tables, etc. For most decisions about a project, engineers from different

disciplines like those shown in the picture of a typical project meeting (**Fig. 1**) (a designer, project manager, cost estimator, scheduler, and MEP (mechanical, electrical, and piping) coordinator) need to share their information with others on the project team. The purpose of the meeting shown in **Fig. 1** was to coordinate the detailed design and construction methods, cost, and schedule for an office building. In this meeting, each engineer formed an image of the current status of the project and visions of future situations in his head based on his own interpretations of the documents from the other engineers. These interpretations formed the basis for discussions and decisions about the most appropriate design of the facility and its parts, when, how, and by whom it should be built, how long the whole project or a part of the project should take, how much things will cost, etc. In this way, a large portion of the planning and coordination on the project occurred primarily in the engineers' heads and was not supported by IT. In our experience, this use of IT is typical on projects. Because decisions are mostly based on personal and



**Fig. 1** On every project, several specialists from different disciplines come together to plan the project and move it forward. Each specialist documents his or her work using different IT systems and formats to represent the information they need for their work.

human interpretations of information generated by many engineers from many disciplines, the decision process and resulting actions and results are not consistent and repeatable from meeting to meeting and project to project. As a result it is difficult to predict the outcome of the current design and construction process, and IT contributes little to predict the outcome of projects more reliably.

Since most of these discussions and decisions require the input of engineers from several disciplines, it is, of course of paramount importance that the information in the documents of the various specialists is based on the same information and that it is coordinated and communicated effectively. Coordinating and integrating information across disciplines and throughout several project phases has become increasingly difficult and costly as the amount of electronic information each discipline generates has increased.

At the Center for Integrated Facility Engineering at Stanford University, we have been working on methods and approaches to integrate project information and leverage information across disciplines and phases to create efficient work processes and enable better project decisions since 1988. There

are certainly improvements necessary and possible in the software tools and underlying methods used by the individual disciplines today. However, in our opinion, the major opportunity for improving the design and construction of facilities lies at the interfaces between disciplines. Hence the remainder of this paper focuses on the role and scope of IT in support of multidisciplinary planning and coordination of construction projects. Finding a way to participate in such an integrated project design and construction process will be a key challenge and opportunity for individuals and firms in the foreseeable future.

## 2. EXAMPLES OF MULTIDISCIPLINARY DESIGN AND COORDINATION

To illustrate the issues outlined above and to set up the role and scope of IT in construction we will consider two examples of multidisciplinary design and coordination from recent projects.

### (1) **Renovation of a large office building**

A large public owner recently needed to plan the

renovation of one of its largest office buildings. Several functional units of the owner (e.g., real estate, operations, human resources, project management, facility management) as well as an external design team consisting of several consultants (e.g., architect, various engineers, construction manager) considered several options for this renovation. In one approach, all the tenants in the building moved out temporarily while the building was going to be renovated. This approach gave the design team maximum flexibility and opportunity to redesign the layout, structural and mechanical systems, etc. of the building and organize its construction. In another approach, only half the tenants moved out in the first phase to make room for the renovation of half the building. After the completion of the renovation of the first half the tenants in the second half would move into the new part to make room for the renovation of the second phase, which, upon completion, would then be occupied by the tenants who had moved out originally. This approach provided significant savings in the cost of leasing temporary facilities and minimized the impact of the renovation and move on some building occupants. However, it required the careful coordination of the spaces and various building systems into two self-contained parts and the careful planning and coordination of the renovation work with the remaining tenants.

## (2) Large retail development

On a retail development that suffered a two-month delay due to unforeseen site conditions, the developer of the project asked the general contractor (GC) to develop a recovery schedule so that the project could still finish at the originally scheduled time. Together with its subcontractors the GC considered various acceleration options and analyzed their resource and other organizational needs along with their schedule and cost impact. Together with the developer and some of the subcontractors the GC also evaluated several options to redesign parts of the project to enable partial opening or faster construction.

## (3) Opportunity for IT support illustrated in the examples

These examples illustrate that many situations

and decisions in construction require the involvement of several parties and tradeoff between scope, schedule, and organizational issues under consideration of cost, safety and other criteria. In the case of these projects the involved parties considered many of the tradeoffs in their heads, using some computer-generated descriptions of some of the aspects of an option, such as 2D and 3D drawings, cost estimates, schedules, or 4D models. However, virtually all decisions were made without formal predictions for the expected performance of a particular option with respect to decision criteria and business objectives.

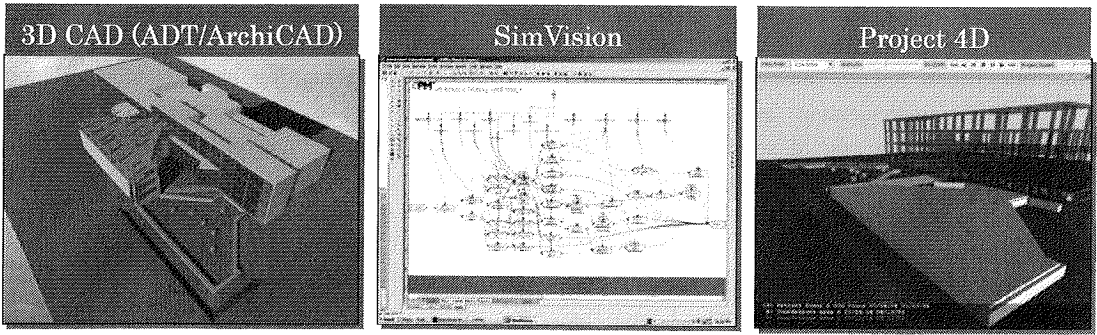
These brief examples also highlight the challenges every company faces with respect to its physical capital assets. To provide the physical infrastructure for its own business, every company needs to :

- *Understand* the performance of physical assets and related organizations and processes in light of business objectives, over time.
- *Predict* engineering and business behaviors.
- *Evaluate* predicted behaviors with respect to clearly articulated business objectives.
- *Manage* the construction projects and the business to maximize measurable business objectives, e.g.,
  - Safety
  - Schedule
  - Cost
  - Delivered Scope
  - Sustainability

We suggest, therefore, that the principal role and scope of IT in construction should be the support of predictions of the anticipated performance of the design of a project's scope, schedule, and organization with respect to the business objectives of the projects' main stakeholders.

## 3. VISION FOR THE ROLE AND SCOPE OF IT IN CONSTRUCTION

This section provides an overview of the future role and scope of IT in construction and introduces integrated POP (product, organization, process) modeling in support of the challenges noted above and defines virtual design and construction (VDC) as a method for more effective leverage of IT in



**Fig. 2** Product, Organization, Process model for a health care project in California using several commercial software tools, including Autodesk's Architectural Desktop and Graphisoft's ArchiCAD, ePM's SimVision, and Common Point's Project 4D.

support of integrated POP design (**Fig. 2**). The following sections review the state-of-the-art in VDC and outline a few important research issues.

### (1) Role of IT

To support such predictions, practitioners will utilize IT to simulate, analyze, and evaluate the expected performance of the facility design, the design of the facility delivery process (design and construction schedule), and the design of the organization carrying out the process. These simulations, analyses, and evaluations should be based on an integrated model describing the designed facility, organization, and process. The simulation, analysis, and evaluation results should then be visualized so that the results make clear what the tradeoffs are between optimizing the facility, organization, and process design for a particular discipline vs. the overall project for the wide range of criteria typically found on construction projects. IT should also automate the generation of the input for simulation, analysis, and evaluation and automate the simulations, analyses, and evaluations as much as possible. Eventually, IT will support the optimization of a project's design from the perspective of multiple disciplines.

### (2) Scope of IT

As illustrated in the two small case examples above, the scope of IT needs to be multidisciplinary, i.e., IT needs to support the integration of the information and perspectives about project alternatives for many disciplines. IT also needs to cover the design of the product (facility, project scope), the

project organization carrying out the design and construction, and the process (schedule) to carry out the project. We call this scope 'integrated POP design', where POP stands for product, organization, and process. As the examples illustrate many decisions involve tradeoffs between product, organization, and process design. We suggest that the design of a project is not complete until the product, the organization, and the process have been designed and the interactions between these three areas understood. The reason for making the product, organization, and process of a project the main scope of IT is that project stakeholders can decide what to build, who should build it how, and when to build it, i.e., the product, organization, and process design are the independent variables on a project. These decisions then lead to a particular performance of the integrated POP design with respect to cost, safety, and other project and business criteria. These performance predictions provide the yardstick to evaluate the relative and absolute merits of a particular design. Such an integrated POP design requires the modeling of the systems and components that make up the product, the actors, teams, task assignments, and other organizational aspects, and the activities that comprise the design, construction, and operations processes. The activities provide the main glue between the product design and the organization, since each component of the product design leads to one or several activities for its design, construction, and operation, and each actor or team in the project organization is assigned to one or several activities.

### (3) Definition of virtual design and construction

Today, integrated POP design is largely done in the heads of project participants. We envision that integrated POP design will be carried out increasingly with IT. Modeling, simulating, analyzing, visualizing, and evaluating the performance of the product, organization, and process with IT is akin to using a flight simulator and simulates how the real project might happen. Therefore, we define Virtual Design and Construction (VDC) as the use of such multidisciplinary performance models of design-construction projects, including the product (i.e., facilities), organization of the design-construction-operation team, and work processes, to support explicit and public business objectives.

By building POP project models early and often before committing large amounts of money or time, VDC supports the description, explanation, evaluation, prediction, alternative formulation, negotiation, and decisions about a project's scope, organization, and schedule with virtual (computer-based) methods. The advantage of computer-based POP design is that POP design is carried out with formal (computer-interpretable) models of the product, process, and organization. This is important to make the models and corresponding predictions and decisions consistent for a project and from project to project. Such a consistent design process will make it more likely that explicit and public project objectives can be addressed in an objective way. Virtual methods are also important because they can support the rapid generation of visualizations of aspects of a POP design to support the multi-discipline, multi-view, and multi-stakeholder design process. POP models are critical to support the efficient generation of the information needed for project decisions. Visualization is critical to communicate the discipline-specific and overall aspects of a project's POP models to the many stakeholders effectively. In the absence of (or in addition to) formal analysis and simulation methods, visualizations can also foster better design, planning, and coordination among the project stakeholders<sup>1)</sup>.

In summary, VDC provides an integrating theoretical framework to predict engineering behaviors, and systematically manage projects and the business using the predictions and observed data, to

achieve measurable business objectives. The theoretical basis for VDC includes:

- *Engineering modeling methods* for the product, organization, process
- *Model-based analysis methods* including, schedule, cost, 4D models, process risks, etc.
- *Visualization methods*
- *Business metrics, strategic management*
- *Economic impact* (i.e., models of the cost and value of capital investments)

We are not aware of a project that has been designed, planned, and managed with integrated product, organization, process models that relate the different levels of detail needed by the key project stakeholders across disciplines and project phases. However, aspects of POP modeling can be found on many projects. The most relevant technologies are 3D, 4D, and building information modeling<sup>2)</sup> and organization-process modeling and simulation. The following sections review the role and scope and application of these technologies as observed in practice today.

## 4. PRODUCT AND PROCESS MODELING

3D models are the prevalent method to represent the information that relates to the physical scope of a project. They are used increasingly on many types of projects, and their visualization and data modeling functionality and interfaces are increasing rapidly. Since 3D modeling technology is well-known, we will not elaborate it in this paper, but rather focus on 4D modeling, since 4D models integrate the spatial (scope, product) and temporal (schedule, process) aspects of a project.

### (1) The 4D concept

4D Models link components in 3D CAD models with activities from the design, procurement, and construction schedules. The resulting 4D model of a project allows project stakeholders to view the planned construction of a facility over time on a computer screen and to review the planned or actual status of a project in the context of a 3D CAD model for any day, week, or month of the project<sup>3)</sup>.

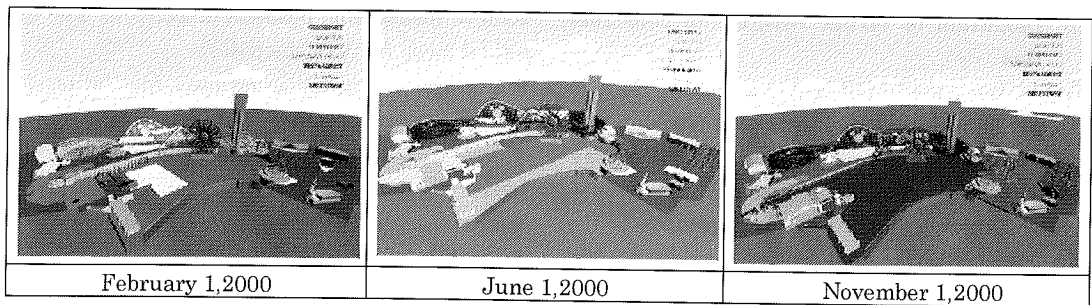


Fig. 3 4D model snapshots of the construction schedule of part of Disney's California Adventure™ as planned during the detailed design stage of the project.

## (2) 4D model benefits

4D models enable a diverse team of project participants to understand and comment on the project scope and corresponding schedules in a proactive and timely manner. They enable the exploration and improvement of the project execution strategy, facilitate improvements in constructibility with corresponding gains in on-site productivity, and make possible the rapid identification and resolution of time-space conflicts. 4D CAD models have proven particularly helpful in projects that involve many stakeholders, in projects undergoing renovation during operation, and in projects with tight, urban site conditions<sup>9</sup>.

For example, Walt Disney Imagineering used 4D models to plan the construction of the Paradise Pier portion of Disney's California Adventure™ in Anaheim, CA. Tight site conditions, a must-meet completion deadline, and many non-construction stakeholders made the project ideal for the application of 4D project management. The 4D model enabled the project team to produce a better set of specifications and design drawings for the construction of the project, resulting in fewer unplanned change orders, a smaller construction team, and a comfortable completion of the project ahead of schedule. Fig. 3 shows several snapshots from the 4D model built for this project.

By improving project communications, 4D models have reduced unplanned change orders by 40% to 90%, reduced rework, increased productivity, and improved the credibility of the schedule and the project management teams. The applications of 4D modeling also demonstrated that an easy to learn and use 4D interface that allows the project team to maintain an up-to-date 4D model with little effort

and that makes it possible to explore schedule alternatives easily is essential for the widespread deployment of 4D models and the use of 4D models by project teams.

## (3) The project manager's desktop: 4D interface

An interactive, easy-to-learn and use, and flexible 4D modeling software was developed in collaboration between Walt Disney Imagineering Research and Development and the Center for Integrated Facility Engineering (<http://cife.stanford.edu>) at Stanford University<sup>9</sup>. Fig. 4 shows the interface to the 4D software, which runs on the Windows platform. This interface allows the 4D modeler (typically the project scheduler) to organize, link, and view all scope and schedule information necessary for 4D modeling. The hierarchical organization of the project information makes it easy for the user to maintain the 4D model over the life of a project as more 3D and schedule details become available. Drag and drop functionality makes it easy to link 3D model components and activities. The resulting 4D model enables everyone interested in a project to grasp and review schedules quickly.

The top part of the interface contains the time and space controls to orient and position the 3D model in the central window and to move through time in various ways (selecting a date, moving the time slider, or using the video-like controls). Users can also select the speed (intervals) for displaying the model. Here, the speed is set to 1 day, meaning that the 4D View window will show the activities that will take place on the various 3D components day by day. The CAD Components window shows the hierarchical organization of the 3D components

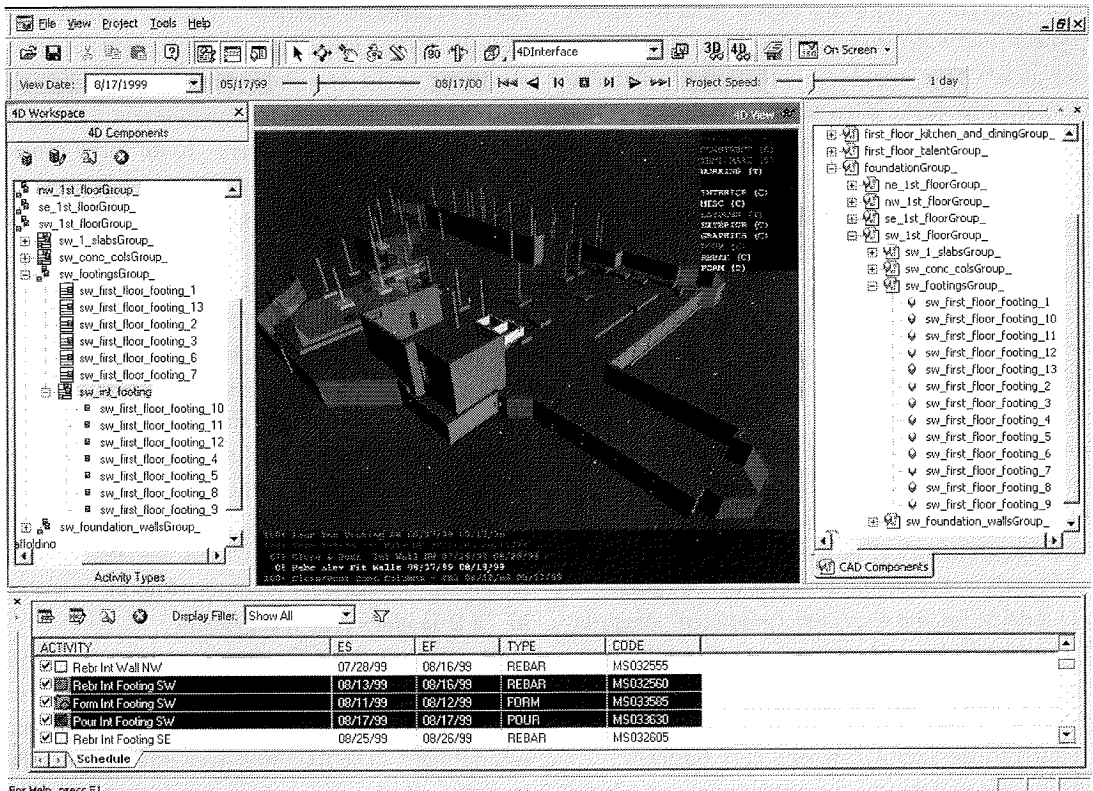


Fig. 4 4D Model Interface, commercially available from Common Point, Inc. (<http://www.commonpointinc.com>).

that make up the building; this is the product model. This 3D model organization is imported from a Virtual Reality Markup Language (VRML) file produced by any 3D modeling software. The Schedule window shows the activities that are needed to build the project; this is the process model. The colored boxes next to the activity names indicate the color in which a particular type of activity will be displayed in the 4D View window. The activities and corresponding fields are imported from scheduling software like Microsoft Project or Primavera's Project Planner. The 4D Components window shows the 4D components organized hierarchically. A 4D component includes one or several CAD components (copied from the CAD components window) that is linked to one or several activities from the schedule. 4D components enable the 4D modeler to reorganize the 3D model in any way necessary for schedule visualization. For example, in the example shown in Fig. 4, the 4D modeler grouped several of the footings from the CAD Components window into a 4D component

called *sw\_int\_footing* (highlighted in the 4D Components window). In the Schedule window, the activities needed to build the collection of footings called *sw\_int\_footing* are highlighted (rebar, form, pour). The 4D View window shows the pouring of the concrete for these footings on Aug. 17, 1999 in red as well as other activities scheduled for that day in their respective colors.

#### (4) Implementation of 4D modeling

On every project, project managers, superintendents, and schedulers run mental 4D movies in their heads to think about the construction of the project. These professionals find it easy to relate to 4D models and to understand and use them. The application of 4D models has been particularly successful when focused questions about the constructibility of a design and related schedule are asked (e.g., in what position should the roller coaster for the Disney project be built?). Owners and contractors have been able to build 3D and 4D models that help address such questions within a few dozens of hours,

which makes it economical and beneficial to support a project team's decision making with 4D models.

4D models have been built in the (early) planning phases of a project (often before the design of the facility has started or in the early phases of project design) for purposes like the following :

- 4D models for multi-year, multi-phase campus retrofit/renovation projects to sequence the individual building projects in the best possible way to support operation of the campus during the retrofit phase
- 4D models for reconstruction of facilities while they are under operation to collect the input of the affected stakeholders and synchronize construction with the operation of the facility
- 4D models for the construction phase of projects with tough temporal or spatial conditions to provide early constructibility input to the design
- 4D models for the expected (predicted) degradation of a number of buildings over their life cycle to match the needs for a level of service from a facility to the business drivers and objectives related to the facility owner's core business
- 4D models to simulate the operational procedures in industrial facilities to provide early operational input to the design

During detailed design or early construction phases, 4D models have been used in the following ways :

- 4D models to plan construction work in detail to coordinate the various subcontractors and make them more productive<sup>6-7)</sup>
- 4D models to simulate the operational procedures to refine the procedures and to keep up the operational input to design

4D models built during the start-up and operational phases have focused on issues like :

- 4D models of the operational procedures to train operators and make the start-up phase more productive
- 4D models of the life of facilities to plan future extensions, maintenance activities and budget in relation to the business needs of the facility owner

The following examples illustrate some of these uses of 3D and 4D models<sup>9)</sup>.

## (5) Examples of 4D model application

### a) Helping an owner visualize the future

DPR Construction has used 4D models to win two

major expansions and one new hospital construction project. DPR's project managers used 4D models to demonstrate to hospital administrators that they had the best approach for maintaining 24/7 operation of critical care facilities. In all three projects DPR won, hospital administrators approved a budget line item for 4D modeling after seeing the 4D model during the proposal stage. Administrators have subsequently used the 4D models to educate physicians and staff about what will be happening during each stage of construction. DPR's 4D models increased the construction staff's understanding of the operational needs of the hospital so that the construction approach and schedule minimized the risks to the hospital operations. On one hospital campus, the 4D model alerted the hospital to the need to change the flight plan for the medevac helicopter during steel erection (Fig. 5).

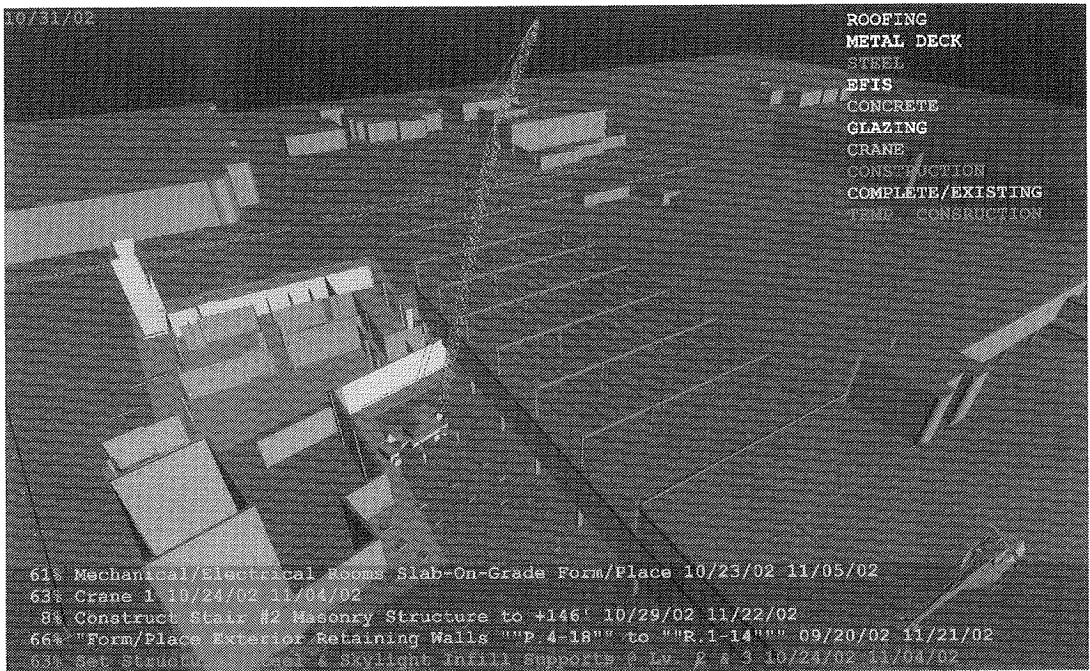
### b) 3D model—cost integration

Designers and contractors are starting to take advantage of automated quantity takeoff functionality available in 3D CAD tools for cost estimating<sup>9)</sup>. 3D CAD tools have offered the ability to take off quantities for quite some time, and estimating tools, such as Timberline's Precision Estimating, have been able to import these quantities as part of an estimate's quantity takeoff (Fig. 6). Cost data that is represented to match 3D design data will enable engineers to leverage design data for cost estimating much more rapidly than possible today. For example, Webcor Builders in San Mateo, CA, experimented with the use of 3D models for automated quantity takeoff and found that estimators could build a 3D model (with Autodesk's Revit software) and take off a project's quantities in less than half the time than they would need for the same quantity takeoff from 2D drawings<sup>10)</sup>. In addition to the advantage of doing the same job faster, such a model-based quantity takeoff reduces the variability of takeoff numbers between different estimators and greatly increases the speed of re-estimating a project when the design changes<sup>11)</sup>.

### c) Concurrent detailed design for just-in-time fabrication and construction

On the Terminal 5 project at Heathrow Airport in London, the concrete contractor faced an extremely tight site that accommodates only three days worth of materials in support of construction. Hence, the



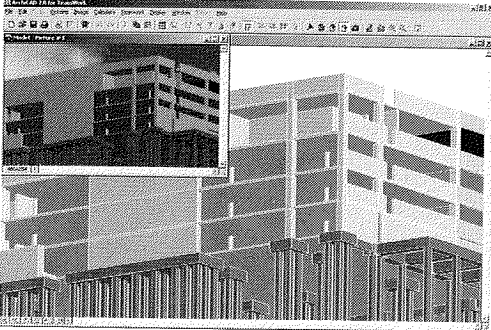


**Fig. 5** Early identification of the interference between the crane needed for steel erection and the flight path for the medevac helicopter allowed the Banner Health Good Samaritan Hospital in Phoenix, AZ, to request timely approval of a modified flight path from the Federal Aviation Administration (FAA) in the U. S. (Picture courtesy of DPR Construction)

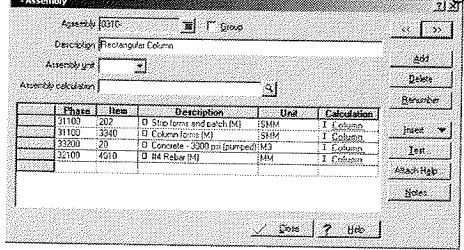
typical reinforcement detailing, submittal, review, and approval cycle that lasts several weeks was not a feasible approach. The contractor needed to make sure that the detailed design could happen very quickly and was extremely well coordinated so that it could not only ensure the on-time ordering, fabrication, and delivery of the right reinforcement, but also take advantage of prefabrication opportunities as much as possible. With the support of Strategic Project Solutions, San Francisco, CA, the contractor (Laing O'Rourke, London, UK) used detailed, parametric 3D models (built with I-deas by EDS, Plano, TX) to support an integrated detailed design team. This approach was, for example, used for the design of the reinforcement for the machine launch chambers of the Heathrow Express Extension. A boring machine will connect a new cut-and-cover tunnel to the existing tunnels under the airport, beginning from the tunnel eye. The reinforcement at the tunnel eye proved exceptionally difficult to design for pre-assembly, so a cross-functional team including the structural designer and the builder was assembled to reach a solution

that satisfied all stakeholders. The 3D model prototype was used for design coordination of this complicated area as well as detail drawing production and material procurement. An integrated team was created. This team then modeled and agreed upon a solution over a two week period, significantly faster than the traditional process. The team consisted of one lead engineer from the builder (Laing O'Rourke), one site foreman (Laing O'Rourke), one rebar detailer from Mott MacDonald, Dublin, Ireland (who also acted to preserve the structural integrity of the design while accommodating the principles of design for assembly), and one civil engineer from Laing O'Rourke operating the I-deas system. Over five work days the site foreman and the civil engineer built the virtual 3D prototype model in real-time on the computer (**Fig. 7**). This 3D modeling effort was leveraged with a few one to two hour meetings with the entire team with the model being projected onto the wall for further real-time prototyping. This process reduced the number of review sessions to a minimum and ensured that the detailed design was well coordinated and

## Link assemblies in CAD Mapper



## Create assemblies in Precision Estimating



## Create estimate in CAD Integrator

Assembly	Phase	Description	Takeoff Quantity	Labor Cost	Labor Price	Labor Amount	Material Price	Material Amount	Total Cost	Total Amount
3110	31100	Sho forms end(cast)(M)	4,500,000.00 SMM	0.00 SF	36	162,000	3	13,500	175,500	175,500
3110	31100	Columns forms (M)	4,500,000.00 SMM	4.19 SF	243	1,096,200	30	135,000	1,231,200	1,231,200
3110	32000	Concrete - 3000 psi (poured)(M)	0.33 M3	45,777.00	139,000.00	45,777.00	18	5,959.80	101,736.80	101,736.80
3110	32100	24 Rebar (M)	16,827.84 M	0.00 MFT	1.04	17,500.00	336	5,784.00	23,284.00	23,284.00

Fig. 6 Overview of 3D model—cost integration. An export of the 3D model in IFC format (provided in this case by Graphisoft's ArchiCAD) provides the bill of materials and quantities of a building design for cost estimating.

maximized prefabrication opportunities and field productivity and safety. The availability of information and people were the major constraints for this process; building the 3D model was very quick.

### d) Construction coordination

For the construction phase, general contractors are using 4D models to coordinate the workflow of their subcontractors and site logistics over time, and to validate early on that their thinking of the project's overall sequencing is correct. Mortenson, for example, used 4D models for the construction of the Walt Disney Concert Hall (WDCH) to improve its construction schedule and to communicate the scope and schedule of the project to subcontractors and other stakeholders to solicit their input in a timely manner<sup>6</sup>. The project's general superintendent, Greg Knutson, estimated that for every hour he spent working on the schedule he needed about six hours to communicate the schedule. The 4D models allowed him to reduce that time while increasing the amount of subcontractor feedback and buy-in. Mortenson built most of the 4D models

before construction and updated the models monthly throughout the first year of construction. Prior to construction the 4D models were used live during subcontractor coordination meetings to review the sequence of work and related logistics and improve the constructibility of the schedule in collaboration between the general contractor and the subcontractors. During construction, the 4D models were used to preview the scope of work for the upcoming 90 days once a month in a subcontractor coordination meeting. By placing cranes into the 4D model, Mortenson and the subcontractors studied the placement of the cranes throughout construction to minimize crane movements and to ensure that the cranes could reach all areas of work as required by the schedule (Fig. 8). Getting the crane usage right was particularly critical on this project, since crane access in many areas was limited to a relatively short period, which meant that the subcontractors had to organize the lifts they needed during those times.

Because of the complexity of the project the 4D

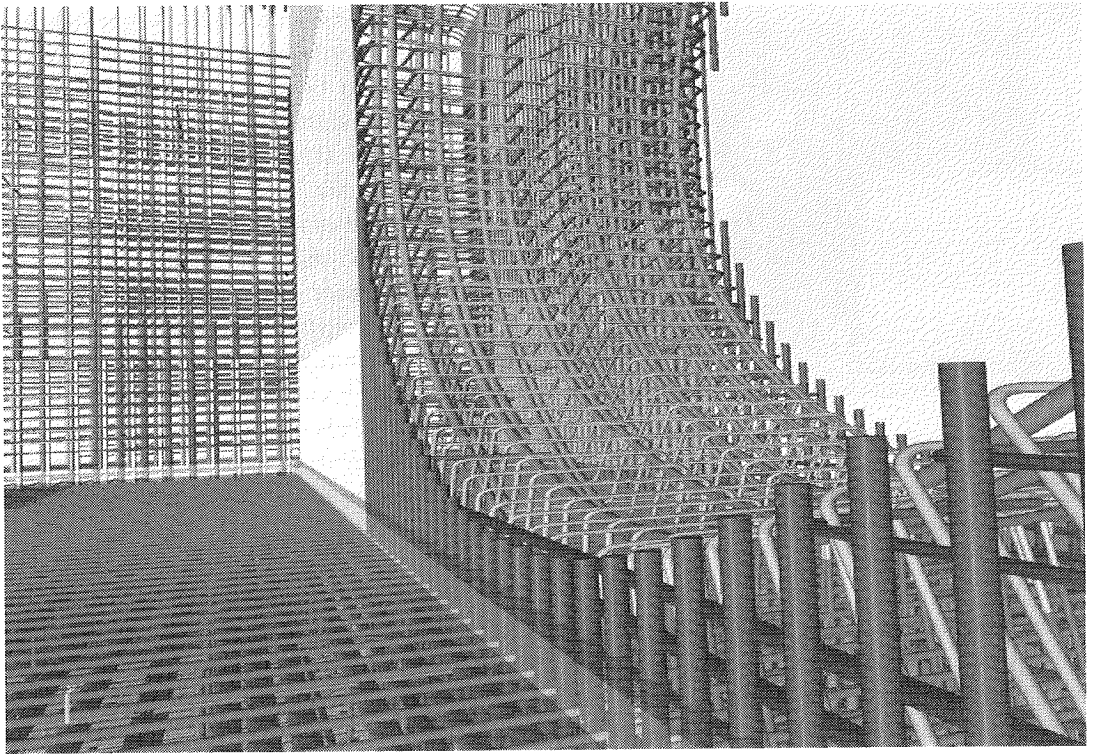


Fig. 7 Detailed, integrated reinforcement steel design with 3D models. (Picture courtesy of Strategic Project Solutions).

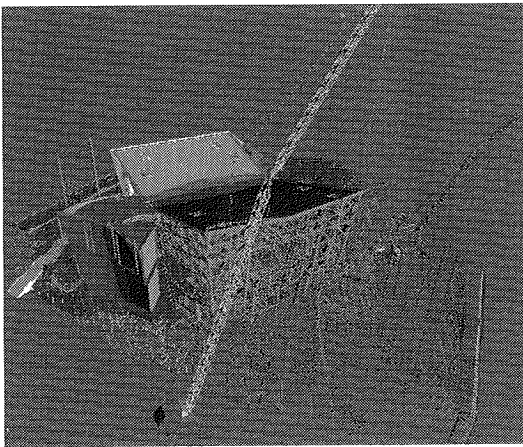


Fig. 8 Snapshot of 4D model for Walt Disney Concert Hall in Los Angeles.

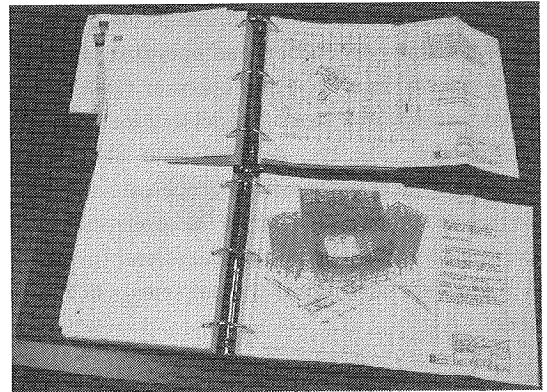
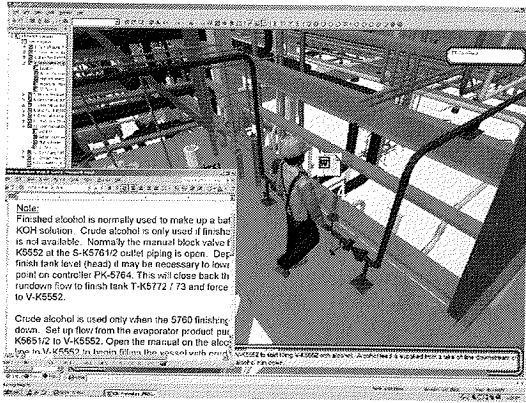


Fig. 9 The two binders used by Mortenson to explain the crane usage plan for the WDCH project. Officials were able to understand this plan much more rapidly when presented in 4D model format.

models were also very helpful in convincing various authorities that Mortenson had a good schedule on the project. This was particularly important for obtaining a permit to proceed with construction from Los Angeles County. Since the County owns the parking garage on which the concert hall is

constructed the County needed to approve the steel erection plan. Although Mortenson had generated a detailed plan (compiled in two binders, Fig. 9) with step-by-step analyses of the crane needs and the structural reliability of the parking structure, the County did not understand the phasing of the cranes



**Fig. 10** Operations simulation and operator training with a virtual model leveraging the 3D model produced by the design engineers. (Snapshot of OpSim application courtesy of Common Point Technologies, Inc., San Jose, CA).

and therefore did not issue the required permit. After several weeks of meetings with the County that did not yield the desired approval of the erection plan Mortenson showed the 4D model of the erection plan to the County officials. In 15 minutes the officials were able to understand more about the erection plan than they had been able to grasp in many afternoons of working through the binders.

#### e) Operations simulation and operator training

Operations simulation and operator training can be supported with a virtual model that includes a 3D CAD model (**Fig. 10**), detailed data about each component (accessible via the graphical window or the tree structure on the left of the screenshot), and operating instructions and explanations (available as Word files) and linked to components in the 3D model.

## 5. ORGANIZATION-PROCESS MODELING AND SIMULATION

The goal of the Virtual Design Team (VDT) project was to develop theory and tools that enable project managers to build computer models, or “virtual prototypes,” of their project work processes and organizations, and then use the computer models to predict the performance of the project organization executing the given tasks. The VDT research project team had the vision that we could

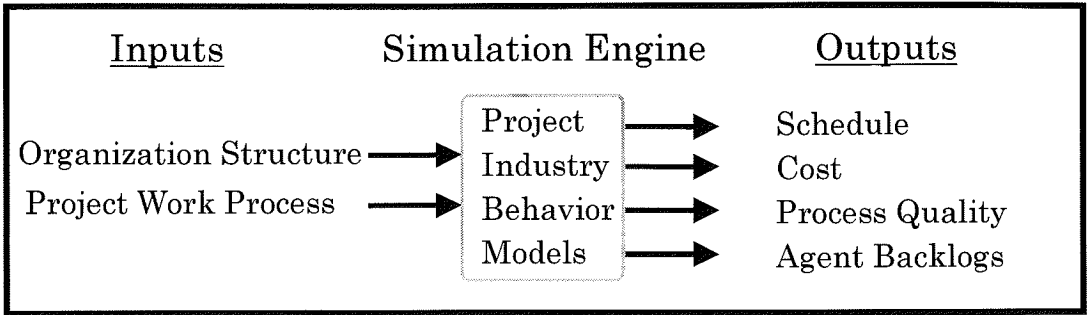
build theory and tools that enable project managers to design their organizations in the same way as engineers design bridges. With a theoretically founded organization and process analysis tool, a project manager (PM) could systematically diagnose schedule, cost, and quality risks associated with the planned configuration of the project. The PM could then “flight simulate” the project to explore the impact on project performance of a series of managerial interventions aimed at eliminating or mitigating these risks. After more than a decade of research and application, we, our students and collaborators have now used the VDT method on hundreds of industrial projects in many industries and in many Civil Engineering applications.

### (1) Overview of virtual design team application

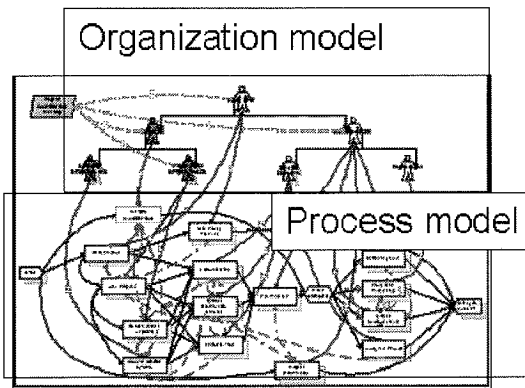
The VDT conceptual model requires designing an input model of a project that can be simulated to produce predicted output behaviors. The input model has two main parts: the organization structure and the project work process (**Fig. 11**).

The organization structure consists of agents or positions in a reporting hierarchy. The project work process is the logical order of the tasks performed within that project. Both the agent and the task descriptions have a small set of attributes and relationships with each other. Agents in the hierarchy have assignments to complete one or several of the work tasks. Each task requires certain skills, and each agent may not or may in different levels have that specific skill. The VDT process model builds on the Critical Path Method (CPM) assumption that tasks have precedence relationships. In addition, tasks may have coordination and failure dependence relationships that indicate respectively the requirements for task owners to discuss their designs and the requirement that dependent tasks must do rework if independent tasks encounter a problem. **Fig. 12** shows an image of a representative input model. The image is from the SimVision® (a registered trademark of ePM) tool, which is the commercial version of the original VDT model.

The VDT model combines a traditional organization chart with a traditional project schedule. In the computational VDT or SimVision model, each position and task is implemented as a computer “data



**Fig. 11** Overall conceptual model for VDT. Organization structure and the project work process and their relationships define the VDT input model. The simulation engine simulates positions doing tasks using the VDT micro behaviors. The simulation engine predicts the project schedule, cost, process quality, agent backlogs, etc. Based on the output we consider and then make changes to the input model and rerun the simulation, thereby optimizing the project design.



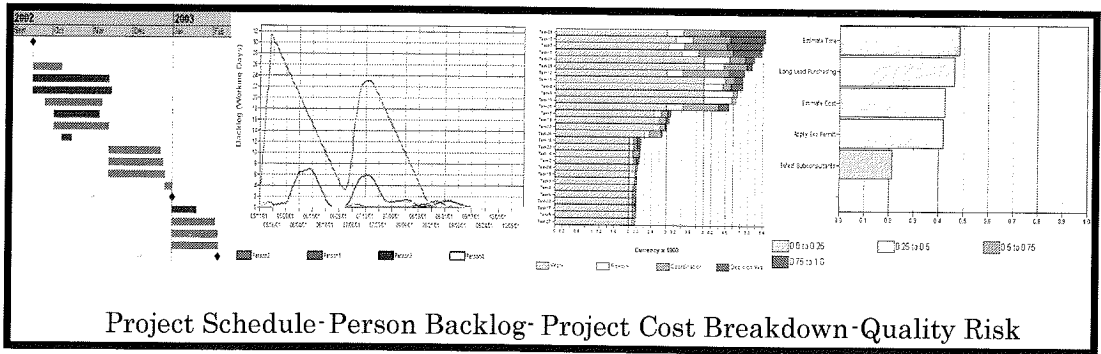
**Fig. 12** VDT Input Model. This model shows the milestones (hexagons), tasks (rectangles), actors (human-like icons) and dependencies (connecting lines) for the pre-construction activities in developing a new biotech facility.

structure” that has some properties and some relationships with other positions and tasks. Precedence relationships link positions to tasks (black lines). As in the Critical Path Method, precedence relationships link tasks. In addition, in the VDT method, tasks can have coordination and rework dependencies, indicated by green and red links respectively. Given an input model for a project, the simulator invokes the VDT micro contingency theory of the way that positions do work on tasks. The simulation predicts the task and project schedule, coordination among positions and tasks, task rework, person backlog, project cost breakdown, schedule risk, quality risk and many more parameters. The

simulation predicts in detail the duration of each task and whether it is on the critical path, i.e., whether the delay of that task affects the project duration as a whole. This process is called exception handling. Most importantly, the simulation explicitly predicts both the direct work to do planned tasks and “hidden” work to do coordination, rework and waiting for supervisory positions to make decisions.

The person backlog shows how much workload is in the “inbox” of each agent. The project cost breakdown shows the cost of work/rework, coordination and decision wait for each task (**Fig. 13**). From these charts project managers identify the greatest risks to project performance and the tasks and positions responsible for those risks. The project manager can then intervene in the project design and change the design of the organization or the work process, with the objective to predict the impacts of those interventions. By repeatedly selecting interventions that are both feasible and valuable, the project manager and the project team can successively optimize project organization and process models. In other words, with VDT project managers can re-engineer the organization and process design by making predictions and selecting those redesign interventions that add value at an acceptable cost.

The functional quality risk chart shows the tasks at greatest risk of exception handling and failure, and thus measures the risk to project quality. The project communications risk chart measures the



**Fig. 13** VDT Outputs. VDT outputs are in the form of tables and charts. This chart shows VDT/SimVision predicted project schedule, person backlog over time, and project cost breakdown and quality risk. The project cost breakdown chart shows predicted direct work in green and predicted hidden work, i.e., coordination, rework and decision wait, in other colors.

**Table 1** Executive Dashboard for a project, showing a number of cases and the predicted project completion time, cost and process risk for each. Note that no case simultaneously meets the explicit duration, cost, and risk objectives of the project manager.

Legend	Meets goal			Almost meets goal		Unmet goal	
	Case	Sim Finish Time	Sim Cost (K\$)	Risk	Comment		
	*Contractor increase staff	2001/3/21	244	0.515	Not feasible		
	All staff FT	2001/4/16	252	0.56	Very difficult for other projects		
	50% Design review/meetings	2001/5/7	353	0.48	Force quick owner decisions		
	Shorten 50% review tasks	2001/5/21	384	0.42	Encourage quick owner decisions		
	John Q. Full Time	2001/6/6	311	0.525	John Q. plus Gary FT		
	John H. Part Time	2001/6/21	324	0.545	John H. plus Gary FT		
	Don S. Full Time	2001/8/5	321	0.56	Don S. plus Gary FT		
	Gary S. Full Time	2001/10/4	335	0.485			
	Split Contractor Tasks	2001/10/19	257	0.5	Add contractor resources		
	Gary, Amy 50%	2001/10/22	251	0.395			
	Baseline	2001/12/11	350	0.515			

risk that positions will handle communications improperly and indicates the tasks with the greatest potential for being at risk.

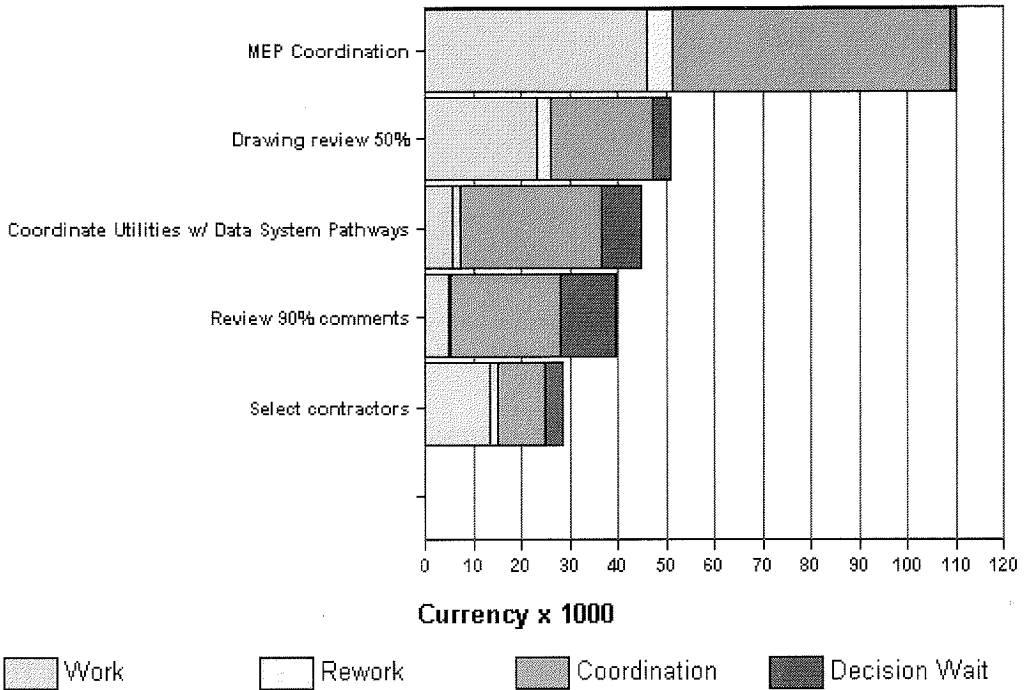
**Table 1** shows an “executive dashboard” that summarizes the duration, cost, and risk of a set of relevant cases, showing that the normal method of using the application is to develop different alternatives and quantitatively compare the performance of these different management alternatives. **Fig. 14** shows the prediction by the VDT simulation of the time, cost and process risk performance of a project design version. The manager can see the predicted outcome of different designs and select the one that is most appropriate in the circumstance.

## (2) Theoretical background of VDT concepts

In Jay Galbraith’s information processing view of organizations<sup>12</sup>, the details of tasks are abstracted away, and work is viewed simply as a volume of information to be processed by an organization consisting of individuals or subteams with specified information processing and communication capacity. Galbraith’s theory provides the kinds of qualitative predictions and recommendations listed above. VDT research operationalized and quantified Galbraith’s theory at the level of individual tasks and project participants. VDT operationalizes the notion of exceptions and their resolution as packets of information passing through communication tool

## Program Cost Breakdown Chart

Program: Program, 50% design review by meetings



**Fig. 14** Cost breakdown of tasks in a project. The VDT/SimVision simulation model quantitatively predicts the amount of direct work, rework, coordination and time spent waiting for an executive decision. The green area represents the direct work, as assumed by the Critical Path Method. The other cost segments represent the hidden work of coordination, rework, and waiting for decisions. This chart shows predictions for a project in which the volume of hidden work significantly exceeds the volume of direct work. One of the conclusions of VDT research is that hidden work represents a significant schedule risk to projects unless it is planned and managed carefully.

channels into the in-boxes of organizational participants. Actors use stochastic selection algorithms to select one of several items to decide what to attend to from their inboxes.

The information processing view of organizations, first conceived by March and Simon<sup>13)</sup>, and introduced to managers by Jay Galbraith<sup>12)</sup>, proposed that knowledge workers process information until they encounter “exceptions,” i.e., situations in which the information required to execute a non-routine task exceeds the information available to the person performing the task. They then refer exceptions upward in the formal hierarchy to find someone who can provide the needed information to resolve the exception. In this perspective on organi-

zations, which underlies much of organizational contingency theory<sup>14)</sup>, the supervisory hierarchy is the primary resource available to workers for resolving their exceptions.

Galbraith’s early work focused on both the information processing limitations (the “bounded rationality”) of workers and their supervisors to do work, answer questions, or perform other tasks in a sequential manner, as well as the information communication limitations of earlier low bandwidth communication technologies such as memos and textual computer printouts. He asserted that bottlenecked supervisors and clogged information channels were the major limitations on the effectiveness of fast moving project teams, and proposed two

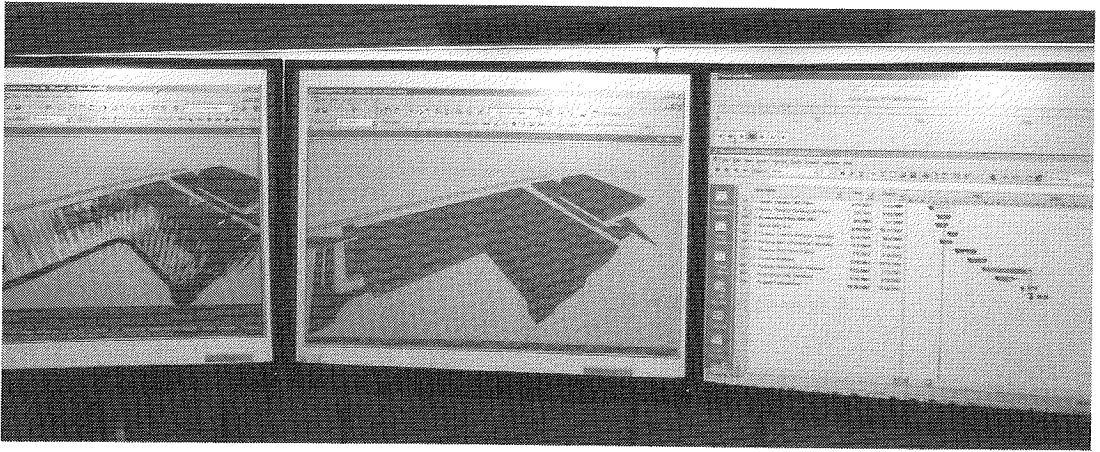


Fig. 15 CIFE iRoom showing comparison of project scenarios with two 4D models (generated by Project 4D by Common Point, Inc.), schedule (generated by Microsoft Project), and the CIFE Time Controller.

kinds of generic strategies for addressing the information overload problem: reducing information processing demand, and increasing information processing capacity. Information processing demand on organizations is likely to continue to increase rather than decrease for the foreseeable future. Galbraith's second strategy proposes that organizations find ways to increase their information processing capacity. To increase organizational information processing capacity, he recommended that organizations: (1) use enhanced communication technologies (hardware and software) to augment vertical communication; and (2) deploy matrix organizations with formalized multidimensional hierarchies and project-based teams to facilitate lateral communication.

Empirically and in theoretical models, exceptions that arise during project execution often result in significant amounts of additional (unplanned) communication and coordination between members of a project team. Recent VDT micro-contingency theory of organization behavior, implemented as computational VDT models of organizations, assumes that project-based exception handling has largely been limited to traditional project teams where the majority of the productive project work occurs asynchronously (i.e., in a distributed, offline) mode<sup>15</sup>. VDT models have been able to predict when the emergent communication and coordination load associated with exception handling exceeds the processing capacity of affected mem-

bers in significant real projects, and both prediction and empirical observation confirm that the impacts can include major schedule delays, quality issues, and cost overruns<sup>16-17</sup>.

## 6. MULTI-USER MULTI-DISPLAY HUMAN-COMPUTER INTERACTION

Many engineers from different disciplines contribute to and review the POP design of a project. It is a challenge for such a multidisciplinary group to understand the advantages and disadvantages of various POP alternatives if they are displayed on a single computer screen. Hence, CIFE collaborated with Stanford's Computer Science Department to adopt the iRoom concept<sup>18</sup> for the construction industry. The CIFE iRoom consists of three Smartboards and general iRoom software developed by the Computer Science department at Stanford University and construction-specific software developed by CIFE (Fig. 15).

The iRoom does not only provide more screen real estate to display the large amounts of information necessary to describe the inputs and outputs of POP models. It also supports data linking and highlighting through its messaging and events infrastructure. In our experience, the development of better interactive human-computer interfaces for multidisciplinary teams is an important step towards virtual design and construction.



## 7. BARRIERS TO EFFECTIVE USE OF VDC

In this section we would like to briefly explore some of the barriers we have observed towards effective adoption and use of VDC. It is important to be cognizant of these barriers because they often thwart implementation efforts, but they also present opportunities for companies who find a way around these barriers and for researchers to develop more integrated and automated approaches to POP design. In our experience these are some of the significant barriers today :

- Owners (CFOs) assess costs, not value of projects : We lack a formal and accepted method to determine the value of projects.
- AEC industry culture and methods minimize cost and do not maximize value : Many IT systems are in place to account for costs, but very few examples exist of IT systems that address the value of projects. The same is true for university courses in construction.
- Sharp theoretical basis : Much of POP modeling and the interactions between product, organization, and process at the various levels of detail, across disciplines and project phases still needs to be formalized.
- Use that leads to improvement in the process and theory : We lack well-established metrics that would allow us to articulate the improvements VDC methods make over existing processes.
- Integrated tools : As noted the integration between the current commercial and research tools used for POP modeling is still challenging and time-consuming.

## 8. CONCLUSIONS

The many examples above show that many companies involved in the planning, design, construction, and operation of facilities are already leveraging their human assets and their information and information technology assets through the use of virtual building models. Companies use three different types of virtual building models (or POP-product, organization, process-models) :

- *Visual 3D and 4D models* : These models help

involve more stakeholders than is possible with traditional methods early in a project to inject their business and engineering knowledge into the design of the facility, its schedule and organization, and they help to improve coordination in all life cycle phases. Such models can be built quite quickly today with commercially available software and can typically be funded from project budgets. They also currently offer an advantage to companies in getting work, but we don't think that this advantage will be sustainable in the long run. In the long term companies will need to figure out how to deploy such visual models effectively and efficiently across their projects.

- *Building Information Models* : These types of models support the exchange of data between software tools to speed up analysis cycle times and reduce data input and transfer errors<sup>2)</sup>. Their set-up, testing, and use cannot typically be financed on a project basis, but rather requires corporate funding. For example one innovative engineering company has been employing about 10% of its engineering staff in its R & D group to make their software and design methods based on product models and to learn how to use product model information other project participants produce to their benefit. When successfully deployed, the ability to reuse project data to do more work with the same budget or the same work with far less budget should provide a competitive advantage that is more sustainable than that gained from visual models.
- *Knowledge-based models that support automation* : These models formalize and apply business and engineering knowledge to automate many of the tasks that are today repeated on a project and from project to project. These models require significant monetary and intellectual investment, but when completed they enable a company to apply and refine its knowledge base very quickly and cost-effectively. We expect that these types of models will give companies a significant competitive advantage, since they change the competitive landscape for a particular task by dramatically increasing the consistency and frequency with which a company can apply its knowledge base and by reducing the time needed to perform a task by one or two orders of magnitude<sup>3)</sup>.

This discussion of the role and scope of IT in construction is, of course, situated in the current industrial context with projects becoming increasingly complex technically, environmentally, socially, legally, and culturally, with increasing economic pressures on facility owners and therefore on their projects, and with shorter and shorter timelines. Putting these challenges into the POP framework :

- the high-performance *product* requirements create more interdependence between the product's subsystems
- the prevalent fast-track concurrent *process* propagates changes across subsystems in real time (this exacerbates product subsystem interdependence)
- *organizations* must process a larger number of changes, exceptions, decisions in less time

Hence an organization's capacity to process information becomes the limiting factor in determining schedule, cost, and quality performance. Therefore, IT needs to support an organization's capacity to model, analyze, simulate, and predict a project's performance as outlined in this paper.

**ACKNOWLEDGMENT:** We thank the industrial members of the Center for Integrated Facility Engineering for their support of our work and our students and colleagues at Stanford and elsewhere for their insights and input.

## REFERENCES

- 1) Liston, K., Fischer, M. and Winograd, T.: Focused Sharing of Information for Multidisciplinary Decision Making by Project Teams, ITCon (Electronic Journal of Information Technology in Construction), Vol. 6, pp. 69-81, 2001.
- 2) Kam, C. and Fischer, M.: Product Model & 4D CAD-Final Report, Technical Report No.143, Center for Integrated Facility Engineering, Stanford, CA, 2002.
- 3) Fischer, M., Liston, K. and Schwegler, B.R.: Interactive 4D Project Management System, Proceedings The Second Civil Engineering Conference in the Asian Region (2nd CECAR), The Asia Civil Engineering Coordinating Council, Japan Society of Civil Engineers, Tokyo, Japan, pp. 367-372, 2001.
- 4) Fischer, M., Haymaker, J. and Liston, K.: Benefits of 3D and 4D Models for Facility Managers and AEC Service Providers, 4D CAD and Visualization in Construction-Developments and Applications, Issa, R. R. A., Flood, I., and O'Brien, W. (eds), Balkema, pp. 1-32, 2003.
- 5) Muller, J.: How to Build a Mountain: Disney takes the thrills out of building roller coasters, Forbes, Oct. 27, 2003.
- 6) Haymaker, J. and Fischer, M.: Challenges and Benefits of 4D Modeling on the Walt Disney Concert Hall Project, Working Paper, No. 64, CIFE, Stanford, 2001.
- 7) Hastings, J., Kibiloski, J., Fischer, M., Haymaker, J. and Liston, K.: Four-Dimensional Modeling to Support Construction Planning of the Stata Center Project, Leadership and Management in Engineering, ASCE, Vol. 3, No. 2, pp. 86-93, 2003.
- 8) Fischer, M.: The Benefits of Virtual Building Tools, Civil Engineering, ASCE, Vol. 73, No. 8, pp. 60-67, 2003.
- 9) Laitinen, J.: Model-based construction process management, Ph. D. Thesis, Dept. of Real Estate and Construction Management, KTH, Stockholm, Sweden, 1998.
- 10) Bedrick, J.: Presentation on Panel on Virtual Design and Construction, CIFE Summer Program, June 25, Stanford University, 2003.
- 11) Staub-French, S. and Fischer, M.: Industrial Case Study of Electronic Design, Cost, and Schedule Integration, Technical Report No. 122, CIFE, Stanford, 2001.
- 12) Galbraith, J.: Organization Design: An Information Processing View, Interfaces, Vol. 4, May, pp. 28-36, 1974.
- 13) March, J. and Simon, H. (with Guetzkow, H.): Organizations, Wiley, 1958.
- 14) Burton, R. and Obel, B.: Strategic Organizational Diagnosis and Design, 2nd Ed., Kluwer Academic Publishers, 1998.
- 15) Jin, Y. and Levitt, R. E.: The Virtual Design Team: A Computational Model of Project Organizations, Journal of Computational and Mathematical Organization Theory Vol. 2, No. 3, Fall, pp. 171-195, 1996.
- 16) Kunz, J. C., Christiansen, T. R., Cohen, G. P., Jin, Y., and Levitt R. E.: The Virtual Design Team: A Computational Simulation Model of Project Organizations, Communications of the Association for Computing Machinery, November, pp. 84-92, 1998.
- 17) Levitt, R. E., Cohen, G. P., Kunz, J. C., Nass, C. I., Christiansen, T. and Jin, Y.: The 'Virtual Design Team': Simulating How Organization Structure and Information Processing Tools Affect Team Performance, in Carley, K. M. and M. J. Prietula, editors, Computational Organization Theory, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, Hillsdale, NJ, 1994.
- 18) Johanson, B., Fox, A. and Winograd, T.: The Interactive Workspaces Project: Experiences with Ubiquitous Computing Rooms, IEEE Pervasive Computing, Vol. 1, No. 2, (April-June 2002), pp. 67-75, 2002.

(Received February 12, 2004)

## 招待論文の和訳

### 建設における情報技術 (IT) の役割と展望

Martin FISCHER and John KUNZ

(訳：矢吹信喜<sup>1</sup>)

<sup>1</sup>正会員 Ph. D. 室蘭工業大学助教授  
工学部建設システム工学科  
(〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1)  
E-mail: yabuki@news3.c.muroran-it.ac.jp

本論では、プロジェクトの構造物と実行組織及び設計・施工プロセスに関する定式化・可視化・統合化されたコンピュータモデルを同時進行的に使用することにより、情報技術 (IT) が重要プロジェクトの設計・施工・操業を支援する事例を示す。我々はこの設計及びプロジェクトマネジメントの手法を Virtual Design and Construction (VDC: 仮想設計・施工) と名付けた。本論では、VDCのための市販あるいは研究段階のソフトウェアを概説し、これらを使うことによって得られた成果についてまとめた。

#### 1. 現在の IT の適用範囲と役割

本論の論点の準備をするために、まず現在の情報技術 (IT) の利用についてまとめる。過去 20 年、建設プロジェクトに関する多くの専門分野の仕事を記述し文書化することを目的とした IT 及びその幅広い利用において劇的な進歩があった。今日、現実的には全てのプロジェクトの情報はソフトウェアに入力されたりコンピュータプログラムによって作られており、プロジェクトに関与する多くの専門分野によって使用される数多くの異なるフォーマットによって表現されている。ソフトウェアは表計算やワープロのような一般目的のもの、あるいは機械分野の CAD や積算ソフトといった専門分野に特化した道具のいずれかである。

図-1 に示すように、建設における情報を表現するのによく使用されるフォーマットは、2次元あるいは3次元の図面、バーチャートあるいは他のフォーマットの工程、その他様々な図や表等である。プロジェクトに関する意思決定のために、異なる専門分野の技術者達 (設計者、プロジェクト管理者、積算者、工程管理者及び機械電気配管調整者) は、図-1 に示すように会議で、プロジェクトチームとして情報を共有する必要がある。図-1 に示す会議の目的は、事務所用ビルディングの詳細設計と施工方法、コスト及び工程を調整することであった。この会議では、各技術者はプロジェクトの現状のイメージと他の技術者から提供される文書を基に、未来の状況の光景を頭の中に描いた。こうした理解により、設備やその部分の最適な設計、

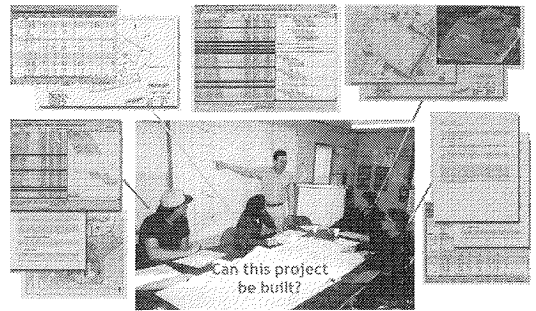


図-1 数人の異なる分野の専門家が集まった典型的なプロジェクト会議及び異なる IT システムとフォーマットによって表現された文書

いつ、どのように、誰によって作られるべきか、全体プロジェクトあるいはプロジェクトのある部分にどれだけの期間をかけるべきか、いくらお金がかかるかといった議論や意思決定のための基礎が形成された。このように、プロジェクトの計画や調整の大部分は技術者の頭の中で起こっており、IT によって支援されていなかった。多くの専門分野の技術者によって作成された情報を各個人が各々解釈し、そうした解釈に基づいて、意思決定が行われていることから、決定プロセス、生じる行動及び結果は一貫性がなく、会議やプロジェクト毎に異なる。その結果、現在の設計と施工プロセスの結果を予測することは困難であり、IT はプロジェクトの結末を精度よく予測することにほとんど貢献していない。

これらの会議と決定には、いくつかの専門分野の技術者からのインプットが必要であるから、種々の専門家からの文書の中の情報が同じ情報に基づいていることと、情報が効率的に調整され伝達されることが極めて重要である。専門分野を越えて、いくつかのプロジェクトのフェーズを通して、情報を調整し、統合化することは、各専門家達が作成する電子的情報の量が増えるにつれ、益々困難で高いコストがかかるようになる。

スタンフォード大学の統合化設備工学センター (CIFE) では、1988 年より、効率的な仕事のプロセスを創造し、より良いプロジェクトの決定を可能にするために、専門分野やフェーズを越えてプロジェクトの情報を統合化し、情報の価値を高める方法論やアプローチについての研究を実施してきている。今日、個々の専門分野で使用されているソフトウェアや基礎になる方法論における必要かつ可能な改善は確かにある。しかし、我々は、設備の設計と施工を大幅に改善するための主な機会、専門分野間の境界 (インタフェース) にあると考えている。従って、本論では、以下、複数の専門にまたがった建設プロジェクトの計画

と調整を支援する上での IT の役割と適用範囲に焦点を当てる。統合化されたプロジェクトの設計と施工プロセスに参加する方法を発見することは、近い将来、各個人と企業にとって重要な挑戦であり機会となる。

## 2. 複数の専門が関わる設計と調整の事例

上記の課題を例示し、建設における IT の役割と適用範囲を提案するために、最近のプロジェクトから複数の専門が関わる設計と施工の 2 つの事例を考える。

### (1) 大規模なオフィスの修繕

大きな公共団体が、最近、保有する大規模なオフィスの 1 つを修繕する計画を作成する必要があった。オーナーとしてのいくつかの機能ユニット（例えば、不動産、営繕、人事、プロジェクト管理、設備管理）のみならず、いくつかのコンサルタント（例えば、建築家、種々の技術者、施工管理者）によって構成される外部の設計チームが、この修繕に対して、いくつかのオプションを考案した。1 つのアプローチとしては、ビルを修繕している間、そのビルの全てのテナントが一時的に引越して出て行くものである。この方法は、設計チームにビルのレイアウト、構造及び機器システム等を再設計し、その施工を準備する上で、最大の柔軟性と機会を与えるものであった。別のアプローチでは、第 1 フェーズでは、ビルの半分の修繕を行うために、テナントの半分だけが引越するものであった。最初の半分の修繕が終了した後、残りの半分のテナントが第 2 フェーズの修繕のための空きをつくるために、修繕された新しい部分に引越をし、完了後、最初に引越したテナントが入ってくるというものであった。この方法は、一時的な施設のリース・コストを削減することができ、修繕による影響とビルのテナントの一部の引越を最小化するものであった。しかしながら、それは、スペースと様々なビルシステムを 2 つの自立した部分に注意深く分けるような調整及び残っているテナントとの詳細な計画と修繕に関する調整が必要であった。

### (2) 大規模な小売業開発

予測できなかった現場状況にあって 2 ヶ月の遅れに悩まされていた小売業開発において、プロジェクトのデベロッパは、プロジェクトが当初の計画通りに完成するよう改善スケジュールを作成するよう総合建設業者（ゼネコン）に頼んだ。下請業者と一緒にゼネコンは、工事速度を上げるいくつかの案を考え、それらに

よる工程とコストへの影響とともに、資源とその他の組織的な必要性を分析した。そのゼネコンは、デベロッパと下請業者のいくつかと共に、また部分的な開店及びより速い施工を可能とするために、プロジェクトの一部を再設計する数個のオプションの評価も行った。

### (3) 事例における IT 支援の機会

これらの事例は、建設における多くの状況や決定は、いくつかの団体の関与及びコスト、安全性とその他の基準の考慮の下、構造物、工程と組織的な問題の間のトレードオフを必要とすることを示している。これらのプロジェクトでは、関与している団体は、2 次元及び 3 次元の図面、積算結果、工程あるいは 4 次元モデルといった、オプションのいくつかの側面を記述したコンピュータ出力を使いながら、彼らの頭の中でトレードオフの多くを考慮した。しかし、事実上、全ての決定は、決定の基準とビジネスの目的について、あるオプションの期待される成果を理論的に予測せずに行われた。

これらの簡単な事例は、また、全ての企業が設備資産に関して直面している挑戦的な課題を浮き彫りにしている。自己のビジネスのためにインフラストラクチャを提供するには、全ての企業は以下のことを行う必要がある。

- 設備資産と関連する組織及びプロセスの成果をビジネスの目的に照らし合わせて時間をかけて「理解」する。
- 工学とビジネスの作用と反応を「予測」する。
- はっきりと明確化されたビジネスの目的に関する予測された作用と反応を「評価」する。
- 建設プロジェクトとビジネスを計測可能なビジネスの目的（例えば、安全性、工程、コスト、達成範囲、持続可能性）を最大化させるよう「管理」する。

従って、我々は建設における IT の主な役割と適用範囲は、プロジェクトの主な利害関係者のビジネスの目的に関して、プロジェクトの構造物、工程及び組織の設計において期待される成果を予測することを支援することだと提案する。

## 3. 建設における IT の役割と適用範囲に関するビジョン

本章では、建設における IT の将来の役割と範囲の概観を示し、前述の挑戦を支援する統合化された POP（プロダクト、組織、プロセス）モデルを紹介

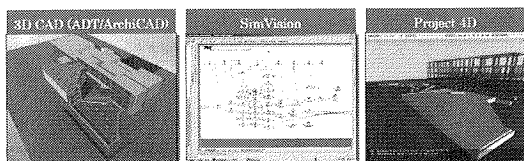


図-2 Autodesk の Architectural Desktop, Graphisoft の ArchiCAD, ePM の SimVision 及び Commonpoint の Project 4D を含むいくつかの商用ソフトウェアを使ったカリフォルニアにあるヘルスケアプロジェクトのためのプロダクト、組織、プロセスモデル

する。さらに、統合化された POP 設計 (図-2) を支持し、より効率的な IT の効果を得るための方法として、Virtual Design and Construction (VDC: 仮想設計・施工) を定義する。以下、VDC の発達水準をレビューし、2、3 の重要な研究課題について略述する。

### (1) IT の役割

そのような予測を支援するために、実務者達は、設備の設計、設備の供給過程 (設計・施工工程) の設計及びそれを遂行する組織の設計に関わる期待される成果をシミュレートし、分析し、評価するのに IT を利用するだろう。これらのシミュレーション、分析及び評価は、設計された設備、組織及びプロセスを記述する統合化されたモデルに基づくべきである。シミュレーション、分析及び評価の結果は、次に、視覚化されるべきである。そうすることによって、設備、組織及びプロセス設計をある専門分野で最適化することと、建設プロジェクトでよく見られる広い範囲の範疇において全体プロジェクトのために最適化することのトレードオフが何なのかということを明確化することができる。IT はシミュレーション、分析及び評価の入力のためのデータ生成を自動化すべきであり、シミュレーション、分析及び評価をできるだけ自動化すべきである。さらに、IT は多数の専門の視点からプロジェクトの設計の最適化を支援するだろう。

### (2) IT の適用範囲

上記の 2 つの小さな事例で示されたように IT の範囲は複数の専門にまたがるべきである。すなわち、多くの専門分野からのプロジェクトの代替案についての情報と視点を統合化することを支援すべきである。IT はまたプロジェクト (設備、プロジェクトの範囲)、設計と施工を行うプロジェクトの組織及びプロジェクトを遂行するための工程を計画することを支援すべきである。我々は、この範囲を 'integrated POP design' (統合化された POP 設計) と呼ぶ。ここで、

POP とは product, organization, and process の略である。事例が示すように、多くの意思決定には、プロダクト、組織及びプロセスの設計間のトレードオフが関与する。我々は、プロダクト、組織及びプロセスが設計され、これら 3 つの領域の相互作用が理解されない限り、プロジェクトの設計は完了しているとはいえないと考える。

プロジェクトのプロダクト、組織及びプロセスを作成する理由は、プロジェクトの利害関係者達が、何を建てるか、誰がどのように建てるか、さらに、いつ建てるかを決定することができるからである。すなわち、プロダクト、組織及びプロセス設計は、プロジェクトの独立の変数なのである。これらの決定は、次に、コスト、安全性及び他のプロジェクトとビジネスの基準に関して、統合化された POP 設計のある特定の成果に導くのである。これらの成果予測は、ある設計の相対的及び絶対的なメリットを評価するための基準を提供する。そのような統合化された POP 設計は、プロダクト、遂行者、チーム、業務割当及び他の組織的な側面を形成するシステムとコンポーネント及び設計、施工と営繕プロセスを含む作業のモデリングを必要とする。作業はプロダクトの設計と組織との間を関連付ける役割を果たす。なぜならば、プロダクトの設計の各コンポーネントは、その設計、施工及び営繕のための一つないし数個の作業に導かれ、プロジェクト組織間の各遂行者またはチームの一つまたは数個の作業が割当てられるからである。

### (3) Virtual Design and Construction の定義

今日、統合化された POP 設計は、主にプロジェクト参加者の頭の中で行われている。我々は、統合化された POP 設計は、もっと IT を使って行われるようになると思像している。プロダクト、組織及びプロセスのモデリング、シミュレーション、分析、可視化及び評価を IT で行うことは、フライトシミュレータを使用することに類似し、起こり得る実際のプロジェクトをシミュレートする。従って、我々は Virtual Design and Construction (VDC) を、明確かつ公的なビジネスの目的を支援するために、プロダクト (すなわち設備)、設計—施工—操業チーム組織及び工事プロセスを含む設計—施工プロジェクトの多専門分野にまたがる業務モデルを使うことと定義する。

POP プロジェクトモデルを早く、特に多くの金と時間を払うことを決定する前に構築することにより、VDC は仮想的な (コンピュータによる) 方法により、プロジェクトの範囲、組織及び工程に関する記述、説明、評価、予測、代替案の策定、交渉及び決定を支援する。コンピュータによる POP 設計の長所は、POP

設計からプロダクト、プロセス及び組織の定式化された（コンピュータが解釈可能な）モデルにより実行されることにある。これは、モデルと関連する予測と決定がプロジェクト間でプロジェクトからプロジェクトへ一貫性があるようにする上で重要である。そのような一貫性のある設計プロセスは、明確で公的なプロジェクトの目的を客観的な方法で取り組めるようにする可能性が高くなる。仮想的な方法もまた重要である。なぜならば、それは多専門分野の、多視点の、多利害関係者の設計プロセスを支援するために、POP 設計の側面を素早く可視化させることができるからである。POP モデルは、プロジェクトの決定に必要な情報を効率的に生成する上で重要である。可視化は、多くの利害関係者間で効果的にプロジェクトの POP モデルの各専門及び全体的な側面をコミュニケーションするのに重要である。定式化された分析及びシミュレーション方式がない場合（あるいは、これらに加えて）、可視化はまたよりよい設計、計画及びプロジェクトの利害関係者間の調整を促進することができる<sup>3)</sup>。

要約すると、VDC は（工学的な）作用と反応を予測するための、統合化を行う理論的な枠組みを提供し、計測可能なビジネスの目標を達成するために、予測と観測データを使ってプロジェクトとビジネスを系統的に管理するものである。VDC の理論的な基礎は以下の項目を含む

- ・プロダクト、組織、プロセスのための工学的モデリング方法論
- ・工程、コスト、4D モデル、プロセスリスク等を含むモデルベースの分析法
- ・可視化法
- ・ビジネスの測定基準、戦略的マネジメント
- ・経済的影響（すなわち、資本投資のコストと価値のモデル）

各専門及びプロジェクト段階にまたがる主なプロジェクトの利害関係者が必要とする異なるレベルの詳細さを関係付ける統合化されたプロダクト、組織、プロセスモデルによって、設計、計画及び管理されたプロジェクトを、我々はまだ見たことがない。しかしながら、POP モデルの側面は多くのプロジェクトにおいて見られる。最も関連のある技術は、3D、4D 及びビルディング情報モデル<sup>2)</sup>及び組織—プロセスモデリングとシミュレーションである。以下の章で今日、実務で見られるこれらの技術の役割、範囲及び応用をレビューする。

## 4. プロダクト及びプロセスモデリング

3D モデルは、プロジェクトの物理的な側面に関係する情報を表現するための、広く行き渡った方法であり、多くのタイプのプロジェクトで尚一層使われている。また、それらの可視化とデータモデリングの機能及びインタフェースはますます強化されつつある。3D モデリング技術はよく知られている事から、本論では詳しく触れず、4D モデリングに焦点を当てる。なぜなら、4D モデルはプロジェクトの空間的（範囲、プロダクト）、時間的（工程、プロセス）側面を統合化するものだからである。

### (1) 4D 概念

4D モデルは、3D CAD モデルの中の部材を設計、調達及び建設工程からの作業を関連付ける。その結果、プロジェクトの 4D モデルにより、プロジェクトの利害関係者達は、計画された施設の施工過程をコンピュータスクリーン上で見て、計画されたあるいは実際のプロジェクトの状況を 3D CAD モデルの中でプロジェクトのいかなる日、週、月からでもレビューすることができるのである<sup>3)</sup>。

### (2) 4D モデルがもたらす成果（便益）

4D モデルは、プロジェクトの広い分野からの参加者がプロジェクトの範囲と関連する工程について順方向に、適時に理解し、コメントできるようにする。4D モデルは、プロジェクトの遂行戦略の理解と改善を可能にし、サイトにおける生産性の向上とともに、施工性の向上を促進させ、時空間における衝突（干渉）を早く発見させ、解決させることが可能である。4D CAD モデルは、多くの利害関係者が関与するプロジェクト、施設が使用された状況で修繕するプロジェクト及び時間的制約が厳しい都市部のサイトのプロジェクトで特に有効であることが実証されている<sup>4)</sup>。

例えば、ウォルトディズニーイマジニアリング社は、4D モデルをカリフォルニア州アナハイム市にあるディズニーのカリフォルニアアドベンチャーのパラダイスピアの部分の建設計画に使用した。余裕のない現場状況、絶対守らなくてはならない完工期限、多くの建設以外の利害関係者といった条件は、このプロジェクトを 4D プロジェクト管理の応用に理想的なものにした。4D モデルは、プロジェクトチームにこのプロジェクトの建設のためのより良い仕様書と設計図面を作成することを可能にさせ、それにより計画にない設計変更命令の回数を減らし、施工チームの人数を減らし、工期よりも早く終了させることができた。

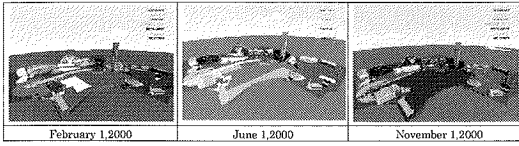


図-3 ディズニーのカリフォルニアアドベンチャーの一部の詳細設計段階で計画された工程の4Dモデルのスナップショット

図-3はこのプロジェクトのために作られた4Dモデルのいくつかのスナップショットを示す。

プロジェクトのコミュニケーションを改善することにより、計画にない設計変更命令を40~90%減らし、手戻りを減らし、生産性を向上させ、工程とプロジェクト管理チームの信頼性を向上させた。こうした4Dモデリングの応用事例から、4Dモデルが幅広く採用され、プロジェクトチームにおいて4Dモデルが使用されるためには、プロジェクトチームが最新の4Dモデルをほとんど苦勞せず、維持でき、工程の代替案を容易に調べることができ、覚えやすく使いやすい4Dインタフェースが、極めて重要であることが示された。

### (3) プロジェクト管理者のデスクトップ：4Dインタフェース

対話的で覚えやすく使いやすい柔軟な4Dモデリングソフトウェアが、ウォルトディズニーイマジニアリングR&Dとスタンフォード大学のCIFE<sup>5)</sup> (<http://cife.stanford.edu>)により共同開発された。図-4に、Windowsコンピュータ上で動作する4Dソフトウェアのインタフェースを示す。このインタフェースにより、4Dモデラー（通常、プロジェクト工程管理者）は、4Dモデルに必要な全ての範囲と工程情報を組織化し、リンクし、見ることができる。プロジェクトの情報の階層的な構成によりユーザは、プロジェクトのライフサイクルの中で3D及び工程の詳細が入手されるに従い、4Dモデルを容易に維持していくことができる。ドラッグアンドドロップ機能により、3Dモデル部材と作業とを容易にリンクできる。その結果、4Dモデルにより、プロジェクトに関心がある全ての人が工程を素早く理解し、レビューすることが可能となる。

インタフェースの上部は、時間と空間のコントロールを含み、中央のウィンドウの3Dモデルの方向付けや位置決めを行い、種々の方法で時間を通して（日時を選択し、時間のスライダを動かす、またはビデオのボタンを使うように）動かすのに使われる。ユーザは、モデルを見せるスピード（間隔）を選択すること

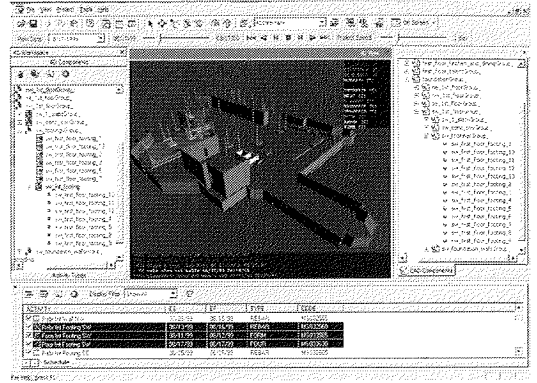


図-4 CommonPoint社から商業的に入手可能な4Dモデルスナップショット

もできる。ここで、スピードは1日とセットされる。すなわち、4Dビューウィンドウは様々な3D部材について発生する作業を1日毎に見せる事になる。CAD部材ウィンドウはビルディングを作る3D部材の階層的構成、すなわちプロダクトモデルを見せる。この3Dモデル構成は、いかなる3Dモデリングソフトウェアからでも作られるVRML (Virtual Reality Markup Language) のファイルからインポートされる。工程ウィンドウは、プロジェクトを開発するために必要な作業、すなわちプロセスモデルを見せる。作業名の隣にある色の付いた箱は、ある特定のタイプの作業が4Dビューウィンドウに表示される色を示している。作業と対応するフィールドはMicrosoft ProjectやPrimaveraのProject Plannerといった工程計画ソフトウェアからインポートされる。4D部材のウィンドウは4D部材を階層的に表示する。4D部材は、工程の一つのあるいは数個の作業とリンクされた一つのあるいは数個のCAD部材からコピーされたCAD部材を含む。4D部材により4Dモデラーは、工程を可視化するのに必要なあらゆる方法により、3Dモデルを再構成することが可能である。例えば、図-4に示す例では、4DモデラーはCAD部材ウィンドウのいくつかのフーチングをsw\_int\_footingと名づけられた4D部材にグループ化した（4D部材ウィンドウでハイライト（色が反転）されている）。工程ウィンドウでは、sw\_int\_footingと呼ばれるこれらのフーチングを施工するのに必要な作業（配筋、型枠、打設）がハイライトされている。4Dビューウィンドウは、これらのフーチングのコンクリート打設は1999年8月17日であることを赤く示し、さらにこの日、他の作業を各々の色で示している。

#### (4) 4Dモデリングのコンピュータへの実装

どのプロジェクトでも、プロジェクト管理者、監督者、工程管理者は、施工について考えるために、彼らの頭の中で仮想的な4D映画を映写する。これらのプロフェッショナル達は、4Dモデルを関係付け、理解し、使う事は容易だとわかる。4Dモデルの利用は、設計の施工性や関連する工程に関する質問（例えば、ディズニープロジェクトのためのローラーコースタはどういった順序で作られるべきか？）が聞かれた時、特に功を奏する。オーナーとコントラクターは、そうした質問に対して答えることができる3D及び4Dモデルを20〜30時間で作ることができた。これによりプロジェクトチームが4Dモデルで経済的で有益な決定を行うことが可能となった。

4Dモデルは、プロジェクトの（初期）計画段階（しばしば施設の設計が始まる前、あるいはプロジェクト設計の初期段階）で、次のような目的で作成されてきた：

- ・複数年、複数段階の学校キャンパスの改造・修繕プロジェクトにおいて、改修段階で、キャンパスを運営しながら、各校舎のプロジェクトをどういう順序で進めるかを検討するための4Dモデル
- ・営業を続けながら、施設の改築を行う際、影響を受ける利害関係者からのデータ入力を集め、施設の営業と施工を同期するための4Dモデル
- ・厳しい時間的または空間的な条件下にある施工段階のプロジェクトで、設計に対して初期の施工可能性の検討を与えるための4Dモデル
- ・多くのビルディングのライフサイクルの中で、予測される劣化について、施設が、施設で営業をする人々へ提供するサービスの必要とされるレベル及び施設のオーナーのコアビジネスと関連する目的とを合致させるための4Dモデル
- ・工業施設の操業手順をシミュレートし、設計に対して初期の操業検討を加えるための4Dモデル  
詳細設計あるいは初期の施工段階において、4Dモデルは以下のような方法で使われてきた。
- ・様々な下請会社を調整し、より生産性を高めるために、詳細に施工を計画する4Dモデル<sup>67)</sup>。
- ・操業手順をシミュレートし、その手順を改良し、設計に操業に関する情報を与え続ける4Dモデル  
操業開始及び操業段階で構築された4Dモデルは以下のような課題に焦点を当てた：
- ・オペレータを訓練し、操業開始段階をより生産的にするための操業手順の4Dモデル
- ・将来の拡張、維持管理及び予算を施設のオーナーのビジネスの必要性和関連付けて、計画するための施設のライフサイクルの4Dモデル

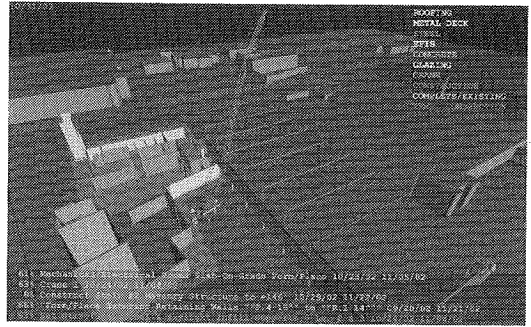


図-5 鉄骨組立に必要なクレーンと病人搬送用ヘリコプタの航空経路との間の干渉を早い段階で発見できたため、アリゾナ州フェニックス市のBanner Health Good Samaritan病院は、米国のFAA（連邦航空局）に航空経路変更申請をタイムリーに行うことができた。（図はDPR Constructionより）

以下の例は、3D及び4Dモデルのいくつかの利用を示す。

#### (5) 4Dモデルの応用例

##### a) オーナーが将来を可視化するのが支援

DPR建設は、2つの拡張工事と1つの新しい病院建設プロジェクトを獲得するために4Dモデルを使用した。DPRのプロジェクト管理者らは病院の事務局に対して、緊急処置施設の24時間/週7日間（つまり、休みなし）の操業を維持するための最良のアプローチを用意していることを示した。DPRが獲得した3つのプロジェクトにおいて、病院の事務局は、プロポーザル段階で4Dモデルを見た後、4Dモデリングのための予算を認可した。事務局は、続いて外科医やスタッフに、施工の各段階で何が起こるのかを説明し、教えるのに4Dモデルを使った。DPRの4Dモデルは、施工方法と工程が病院の運営上のリスクを最小化するように、病院の運営上の必要事項に関する施工スタッフの理解を向上させた。1つの病院の分院において、鉄骨組上げ中に負傷者搬送用ヘリコプタのフライトプランを変更する必要があること（図-5）を、4Dモデルにより病院は気付かされた。

##### b) 3Dモデルーコストの統合

設計者とコントラクターは、積算のために3D CADにある自動数量計算機能を利用し始めている<sup>9)</sup>。3D CADシステムは、何年も前から数量を計算する機能を提供してきている。TimberlineのPrecision Estimatingのような積算ソフトは、これらの数量を積算のための数量としてインポートする機能を持っている（図-6）。3次元設計データに合致するよう表現されたコストデータにより、技術者は設計データを他の可能な方法より速く積算に利用できるようになる。



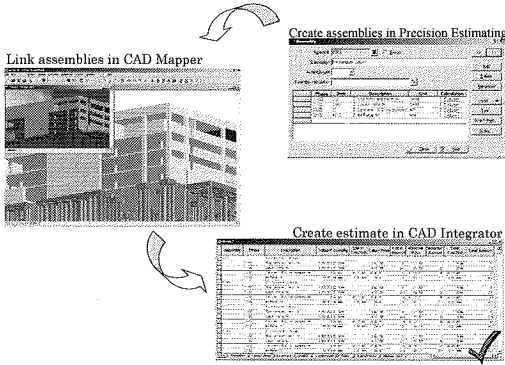


図-6 3Dモデルとコストの統合化の概念。3DモデルをIFCフォーマット（ここでは、GraphisoftのArchiCADによる）でエクスポートすることにより、積算のための設計書が得られる。

例えば、カリフォルニア州サンマテオ市にあるWebcor Building社は、3Dモデルを自動数量計算に使い、積算者が（AutodeskのRevitソフトウェアを使い）3Dモデルを作ることにより、2次元図面から数量を求めるのに必要とする時間の半分以下の時間でプロジェクトの数量を求めることができることがわかった<sup>10)</sup>。同じ仕事が速くできる長所に加え、そうしたモデルベースの数量は、積算者によるバラツキを減らすとともに、設計変更時の再積算のスピードを非常に速くする<sup>11)</sup>。

c) 「カンバン方式」の製作・施工のためのコンクリート（同時・共同の）詳細設計

ロンドンヒースロー空港の5番ターミナルプロジェクトにおいて、コンクリートのコントラクターは施工で使う資材が3日分しかサイトに置く事ができないという極めて余裕のない状況に直面した。従って、数週間かかる通常の配筋図作成、提出、検査、承認というサイクルは、適用可能なアプローチではなかった。コントラクターは、詳細設計が非常に短時間ででき、かつきちんと調整されたもので、正しい鉄筋がオンタイムに注文、製作、調達されることを確実にするだけでなく、できるだけプレハブ方式を利用するものである必要があった。カリフォルニア州サンフランシスコにあるStrategic Project Solutions社の支援により、コントラクター（英国ロンドンのLaing O'Rourke）は、統合化された詳細設計チームを支援するために詳細なパラメトリックの3Dモデル（テキサス州にあるEDSのI-deasによる）を使用した。このアプローチは、例えば、ヒースローエクスプレスエクステンションの列車発進所の配筋のために使われた。ボーリングマシンが、新しい開削トンネルと空港地下の既設トンネルを、トンネルの入口から始まってつなげる。トンネル

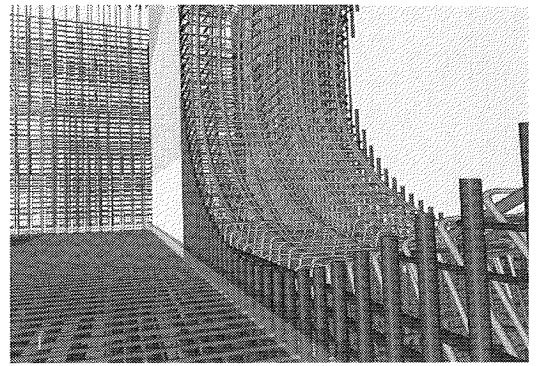


図-7 3Dモデルによる詳細な統合化された配筋設計（図はStrategic Project Solutionsより）

入口の配筋は、事前に組むことは極めて困難であることから、全ての利害関係者らが満足する解決法を探するため、構造技術者と施工業者を含む多機能チームが形成された。3Dモデルのプロトタイプは、この複雑な領域の設計調整のみならず、詳細図面作成と材料調達のために使われた。統合化されたチームは、合意された解決法と2週間という通常のプロセスより非常に短い期間で作成した。そのチームは、建設会社（Laing O'Rourke）の1人の主任技術者及び1人の現場監督者、アイルランドのダブリンのMott MacDonald社の1人の詳細配筋技術者（組立のため設計理論を取り入れながら、設計の構造的統一性を保つこともした）及びLaing O'RourkeからI-deasシステムを操作する1人の土木技師によって構成された。5日間で現場監督者と土木技師は、リアルタイムで仮想的な3Dプロトタイプモデルをコンピュータ内に構築した（図-7）。さらにリアルタイムにプロトタイプを作成するために壁にモデルを映し出ししながら、1回に1～2時間のチーム全体のミーティングを2、3回行うことにより、3Dモデルはさらにその利用価値を高めた。このプロセスは、検査の回数を最小に減らし、詳細設計がよく調整され、プレファブリケーションの機会と現場の生産性と安全性を最大化したことを保証した。情報の入手と人々がこのプロセスの主な拘束条件であったが、3Dモデルの作成は非常に速くできた。

d) 施工の調整

施工段階では、ゼネコンはサブコン（下請業者）の作業フローと現場の資材調達を調整し、プロジェクトの全体的な流れに関する自分達の考えが正しいことを早い段階で確認するために、4Dモデルを使用している。例えば、Mortenson社は、施工管理を改良し、プロジェクトの範囲と工程について、サブコンと他の利害関係者と、彼らのインプットを聞いて情報伝達するために、ウォルトディズニーコンサートホール

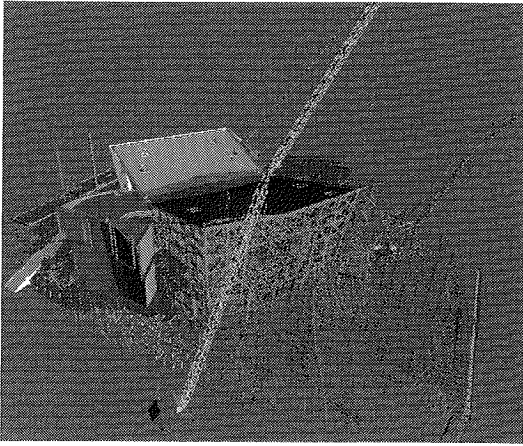


図-8 ロサンジェルスウォルトディズニーコンサートホールの4Dモデルのスナップショット

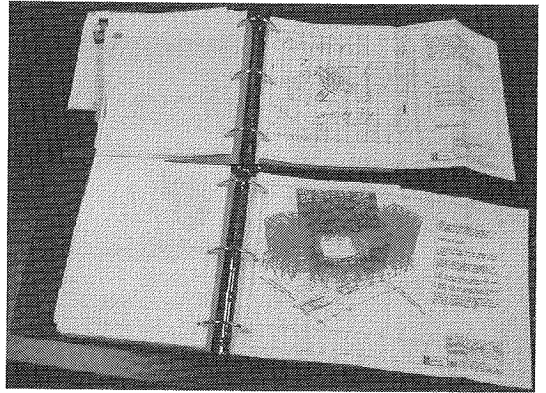


図-9 WDCHプロジェクトのクレーン使用計画を説明するためにMortensonが使った2冊のバインダ。監督官庁は4Dモデルのフォーマットで表現した時の方が、この計画をはるかに速く理解できた。

(WDCH)の建設に4Dモデルを使用した<sup>6)</sup>。

このプロジェクトの総監督のGreg Knutsonは、工程を検討するのに1時間費やす度に、約6時間工程について話し合う必要があった。4Dモデルにより、サブコンからのフィードバックと落札を増やしなが、彼はこうした時間を減らすことができた。Mortenson社は、施工前に4Dモデルの大半を作成し、建設の初期の1年間は毎月モデルを更新した。施工前に、サブコンの調整会議で作業と調達の順番をレビューし、ゼネコンとコンサル間の共同により工期の施工性能を向上させるために、4Dモデルが「生(ライブ)」で使用された。施工中、4Dモデルはサブコン調整会議で毎月、来る90日間の作成範囲をプレビューするために使用された。クレーンを4Dモデルに挿入することにより、Mortenson社とサブコンはクレーンの動きを最小化し、クレーンが工程上必要とされる作業領域の全体に到達できることを確実にするために、クレーンの動きを検討した(図-8)。クレーンを正しく使うことは、このプロジェクトでは特に重要であった。なぜならば、クレーンのアクセスの多くは、比較的短い時間だったので、サブコンはこれらの時間中に必要とするリフトを構成しなければならなかったのである。

プロジェクトの複雑さゆえ、Mortenson社がプロジェクトに対して優れた工程を考えていることを様々な官庁に納得させる際に、4Dモデルは非常に役に立った。これは特にロサンジェルス郡から建設許可を得る際に重要だった。郡はコンサートホールが建設される場所の下にある駐車場を所有しているため、鉄骨組上げ計画を認可する必要がある。Mortenson社は、クレーンの必要性と駐車場の構造的信頼性をステップバイステップで示す詳細な計画を図-9に示すよ

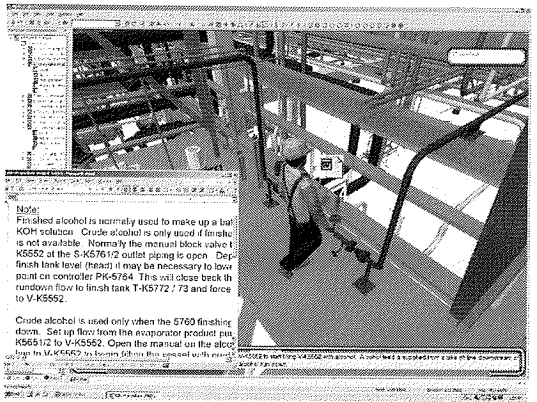


図-10 設計技術者によって作られた3Dモデルを利用したバーチャルモデルによる操業シミュレーションとオペレータトレーニング(CommonPoint Technologies社より)

うな2冊のバインダに綴じて作成したが、郡はクレーンの段階的な動きが理解できなかった。そのため、必要とされる認可を出さなかった。鉄骨組上げ計画を認可しない郡と数週間に及ぶ会議の後、Mortenson社は郡の係官に対して、組上げ計画の4Dモデルを見せた。係官達はそれまでバインダで何日間も読んで理解できなかった組上げ計画を15分間で理解してしまった。

#### e) 操業シミュレーションとオペレータ訓練

操業シミュレーションとオペレータ訓練は、3Dモデル(図-10)、各部材の詳細なデータ(グラフィクスウィンドウまたはスクリーンショットの左にあるツリー構造からアクセスできる)及び操業マニュアルと解説(Wordファイルとして用意)を含み、3Dモデルの部材とリンクしている仮想的なモデルによって支援

され得る。

## 5. 組織・プロセス・モデリング及びシミュレーション

Virtual Design Team (VDT) プロジェクトの目標は、プロジェクト管理者が彼らのプロジェクトの作業プロセスと組織のコンピュータモデルまたはバーチャルプロトタイプを作り、与えられた作業を遂行するプロジェクト組織の成果を予測するコンピュータモデルを使えるようにする理論とツールを開発することであった。VDT 研究プロジェクトチームは、ちょうど技術者らが橋梁を設計するのと同じように、プロジェクト管理者達が、彼らの組織をデザインできる理論とツールを構築できるというビジョンを持った。理論的に構築された組織とプロセス分析ツールにより、プロジェクト管理者 (PM) はプロジェクトの配置計画に関係する工程、コスト及び品質リスクを系統的に診断することができた。PM は次にこれらのリスクを除去あるいは緩和することを目的とした一連の管理上の介入により、プロジェクトの成果への影響を調べるために、プロジェクトを「フライトシミュレート」できた。10年以上におよぶ研究と応用により、我々、我々の学生達及び協力者達は、今や VDT 法を多くの産業界と多くの土木工学応用分野における何百というプロジェクトで使用してきている。

### (1) 仮想設計チーム (VDT) の応用

VDT の概念モデルでは、予測された出力、すなわち作用と反応を作るためにシミュレートされ得るプロジェクトの入力モデルを設計する必要がある。入力モデルは組織構造とプロジェクト作業プロセスの2つの主要な部分に分かれる (図-11)。

組織構造は、階層的組織図の中のエージェントまたはポジション (役) で構成される。プロジェクト作業プロセスは、プロジェクト内で行われる作業の論理的順番である。エージェントと作業記述は、小さい一式の属性とお互いの関係を持つ。階層内のエージェントは1つまたは数個の作業を完了させる任務を持つ。各作業は、何がしかのスキルを必要とするが、各エージェントはそのスキルを持っていないか、あるいは異なるレベルで持っているかも知れない。VDT プロセスモデルは、作業は先行関係を持つという CPM (Critical Path Method) の仮定を足場としている。さらに、作業によっては調整依存関係と失敗依存関係がある。前者は、その作業の遂行者が自分の設計を話し合わなくてはならないという必要条件であり、後者

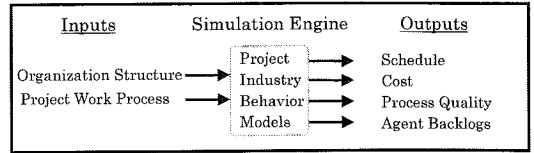


図-11 VDT のための全体的な概念モデル。組織構造とプロジェクトの作業プロセス及びその関係が VDT 入力モデルを定義する。シミュレーションエンジンは VDT ミクロ行動を使用して、作業を行うポジションのシミュレートを行う。またプロジェクトの工程、コスト、プロセス品質、エージェントの残務等を予測する。出力に基づいて、我々は考え、次に入力モデルに変更を加え、シミュレーションを通しプロジェクト設計の最適化を図る。

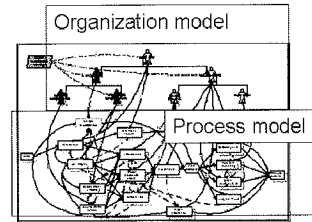


図-12 VDT 入力モデル。このモデルは、新しいバイオテック施設の開発の施工前の作業の一里塚 (6 角形)、作業 (4 角形)、アクター (人間のアイコン)、依存関係 (接続線) を示す。

は、もし依存している作業が問題に当たったならば、依存作業はもう一回やり直しをしなければならない、という必要条件である。図-12 に典型的な入力モデルのイメージを示す。このイメージはオリジナルの VDT モデルの商用バージョンである SimVision® (ePM の登録商標) ソフトウェアからのものである。

VDT モデルは、従来の組織図とやはり従来のプロジェクトスケジュールを合わせたものである。VDT あるいは SimVision の計算モデルでは、各ポジションと作業はコンピュータの「データ構造」として実装される。そのデータ構造では、属性及び他のポジションと作業とリンクする関係によって構成される先行関係は、ポジションと作業をリンクする (黒線)。CPM のように先行関係は作業をリンクする。さらに、VDT 法では作業は調整及び再作業依存関係 (それぞれ緑色と赤色のリンク) を持つことができる。プロジェクトの入力モデルを与えられれば、シミュレータは、ポジションが作業項目の仕事を行うように、VDT のマイクロな状況適合理論を発動する。シミュレーションは、作業とプロジェクトのスケジュール、ポジションと作業間の調整、作業のやり直し、人の残務、プロジェクトの内訳、スケジュールリンク、品質リンク及びさらに多くのパラメータを予測する。シミ

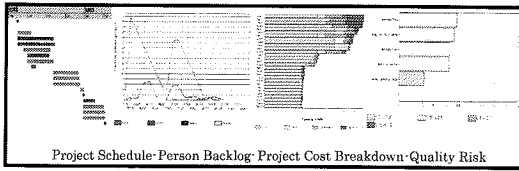


図-13 VDT 出力図。VDT 出力は、表と図の形式である。この図は VDT/SimVision がプロジェクトの工程と人の残務及びプロジェクトのコスト細目及び品質リスクを予測したことを示す。プロジェクトコストの細目図では、予測された直接工事が緑色で、予測された隠れた作業すなわち調整、再作業、決定待ちが他の色で示される。

シミュレーションでは詳細に各作業の期間及びそれがクリティカルパス上かどうか、すなわちその作業の遅れがプロジェクト全体の期間に影響を及ぼすかどうかを予測する。このプロセスは例外処理と呼ばれる。最も重要なことであるが、シミュレーションは計画された作業を行う直接的な仕事とやり直し及び監督者が決定を下すまでの待ちといった「隠れた」仕事の両方を明確に予測する。

人の残務は、各エージェント（代理人）の「インボックス」（元は電子メール箱の意）にどれだけ作業負荷があるかを示す。プロジェクトコスト内訳は、各作業の仕事/やり直し、調整および決定待ちに係るコストを示す（図-13）。これらの図からプロジェクト管理者はプロジェクトの成果への最も大きなリスクとこれらのリスクに対して責任がある作業とポジションを識別する。プロジェクト管理者は、次にプロジェクト設計に介入し、こうした介入による影響を予測する目的で組織あるいは作業プロセスを変える。実行可能で価値のある介入の選択を繰り返すことにより、プロジェクト管理者とプロジェクトチームは連続的にプロジェクトの組織とプロセスモデルを最適化することができる。言い換えれば、VDT でプロジェクト管理者は予測を行い、受け入れられるコストで価値を付加する再設計の介入を選択することにより、組織とプロセスをリエンジニアリングすることができるのである。

機能的品質リスクチャートは例外処理と失敗の最大リスクを持つ作業を示し、ゆえにプロジェクトの品質に対するリスクを計測する。プロジェクトとシミュレーションリスクチャートは、ポジションがコミュニケーションを不適切に処理するリスクを設計し、リスクとしての最大のポテンシャルを持つ作業を指摘する。

表-1 は、関係する複数のケースの期間、コスト及びリスクを要約した「エグゼクティブダッシュボード」を示す。これは、アプリケーションを使った通常の方法は異なる代替案を作成し、これらの異なる管理代替案を定量的に比較することであることを示してい

表-1 多数の事例、予測されたプロジェクト完工時期、コスト、プロセスリスクを示すプロジェクトのためのエグゼクティブダッシュボード。プロジェクト管理者による工事期間、コスト及びリスク目標を同時に達成するケースはないことに注目せよ。

Case	Sim Finish Time	Sim Cost (K\$)	Risk	Comment
*Contractor increase staff	2001/3/24	244	0.515	Not feasible
All staff FT	2001/4/16	252	0.56	Very difficult for other projects
50% Design review/meetings	2001/5/7	253	0.48	Force quick owner decisions
Shorten 50% review tasks	2001/5/21	384	0.42	Encourage quick owner decisions
John Q. Full Time	2001/6/6	311	0.525	John Q. plus Gary FT
John H. Part Time	2001/6/21	324	0.545	John H. plus Gary FT
Don S. Full Time	2001/6/5	321	0.56	Don S. plus Gary FT
Gary S. Full Time	2001/10/4	335	0.488	
Split Contractor Tasks	2001/10/19	257	0.5	Add contractor resources
Gary, Amy 50%	2001/10/22	231	0.395	
Baseline	2001/12/11	350	0.515	

Program Cost Breakdown Chart

Program: Program, 50% design review by meetings

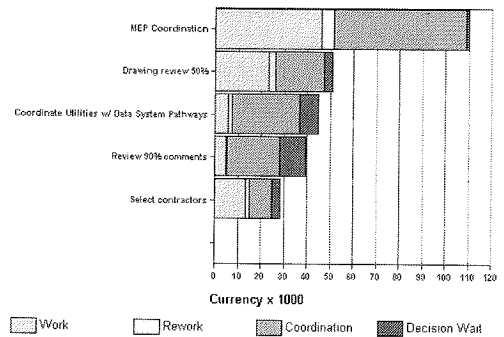


図-14 プロジェクトの作業のコスト細目。VDT/SimVision シミュレーションモデルは直接作業、再作業、調整及びエグゼクティブの決定の待ち時間を定量的に予測する。緑色の部分は CPM と同様直接作業を表す。他のコスト項目は隠された作業、調整、再作業、決定待ちである。この図は、隠された作業が直接作業より、かなり多いプロジェクトの予測を示している。VDT 研究の一つの結論は隠された作業は、そえが注意深く計画され管理されなければ、大きなスケジュールリスクになることである。

る。図-14 は、プロジェクト設計バージョンの時間、コスト及びプロセスリスクの VDT コミュニケーションによる予測を示す。管理者は、異なる設計の予測された結果を見ることができ、その条件下で最も適切なものを選ぶことができる。

## (2) VDT 概念の理論的背景

Jay Galbraith の組織の情報処理観<sup>12)</sup>の中で、こう述べられている。作業の詳細は抽象化され、仕事は、単にある特定の情報処理及びコミュニケーション能力を持つ個人または小チームによって構成される組織によって処理される情報の塊として見られる。Galbraith の理論は、上述の定性的な予測と忠告の類を供給する。VDT 研究は、Galbraith の理論を個々の

作業とプロジェクト参加者のレベルで操作可能なものとし、定量化した。VDTは、例外とそれらの解決の概念を、組織の参加者のインボックスの中にコミュニケーションツールのチャンネルを通して送る情報パケットとして操作可能なものにする。アクター達は、彼らのインボックスからどれに対応するかを決定し、数個の項目から一つを選択するために、確率論的な選択アルゴリズムを使用する。

MarchとSimon<sup>13)</sup>が最初に考え付き、Jay Galbraithがマネジャー達に紹介した組織の情報処理の見方では、ナレッジワーカー達は「例外」(すなわち非ルーチン作業を遂行するのに必要な情報が、その作業を行う人にとって入手できる情報を超える状況)に当るまでは情報を処理する。すると、彼らは例外を解決するために必要な情報を供給する誰かを探すために正式な階層の中で、例外事項を上の方の人に向かって委ねる。組織的な状況適合理論<sup>14)</sup>に根拠をなす組織に関するこの視点では、管理的な組織階層が、ワーカーにとって彼らの例外事項を解決するのに必要で入手可能な第一の資源である。

Galbraithの初期の研究は、ワーカーと監督者が仕事をし、質問に答え、あるいは順番に他の作業を遂行する上での情報処理の制約(「制約された合理性」)及びメモや文字ばかりのコンピュータ出力といった初期の狭帯域のコミュニケーション技術による情報コミュニケーションの制約の両方に焦点を当てた。彼は、ボトルネックとなる監督者と流れの悪い情報チャンネルが、速く動くとするプロジェクトチームの効果に対する主な限界であると主張し、さらに情報の過負荷の問題に対する2種類の汎用的な戦略を提案した。それらは、情報処理の要求量を減らすことと情報処理能力を増やすこととである。組織の情報処理の要求量は、近い将来の間、減少するよりは増加すると考えられる。Galbraithの第二の戦略は、組織は情報処理量を増やす方法を発見することだと提案している。組織の情報処理能力を増やすために、彼は組織に以下の事項を勧めた。組織は(1)縦方向のコミュニケーションを増強するために高度なコミュニケーション技術(ハードウェア、ソフトウェア)を使うべきだ；(2)水平方向のコミュニケーションを促進させるため、定式化された多次元的な階層を持ったマトリクス組織とプロジェクトを基にしたチームを配置すべきだ。

経験的に、そして理論的なモデルでは、プロジェクトの遂行中に発生する例外事項は、しばしばプロジェクトチームのメンバー間で非常に多くの余計な(予期せぬ)コミュニケーションと調整を招くことになる。組織についての計算機上のVDTモデルとして実装された組織行動に関する最近のマイクロな状況適合理論に

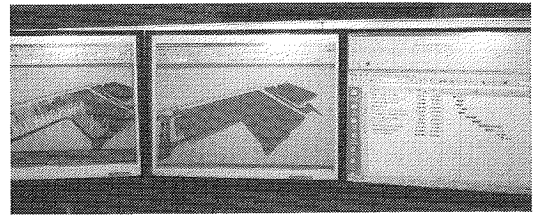


図-15 2つの4Dモデル (CommonPointのProject 4Dによる)、工程 (Microsoft Projectによる)及びCIFE Time Controllerによるプロジェクトシナリオの比較を示すCIFE iRoom

おいては、生産的なプロジェクトの仕事は非同時的なモードで(すなわち、分散、オフラインで)なされる従来のプロジェクトチームにほとんど限定されてきたと推定されている<sup>15)</sup>。VDTモデルは、例外処理に関連した不意のコミュニケーションと調整の負荷がいつ、重要な実際のプロジェクトで影響を受けるメンバー達の処理能力を超えるかを予測することができている。さらに、予測と経験的な観察により、影響は大きな工程の遅れ、品質の問題及びコストオーバーランを含んでいることが確認されている<sup>16)17)</sup>。

## 6. マルチユーザー・マルチディスプレイによる人間-コンピュータ相互作用

異なる専門分野からの多くの技術者は、プロジェクトのPOP設計に貢献し、レビューする。そのような多専門グループにとって、種々のPOP代替案の長所と短所を理解することは、それらが単一のコンピュータスクリーンに表示されれば大変困難なものとなる。そこで、CIFEでは、スタンフォード大学のコンピュータサイエンス学科と共同で、建設業のためにiRoom概念<sup>18)</sup>を採用することとした。CIFE iRoomは、3つのスマートボードとスタンフォード大学コンピュータサイエンス学科によって開発された汎用的なiRoomソフトウェアとCIFEによって開発された建設専用のソフトウェアによって構成されている(図-15)。

## 7. VDCの効果的な利用に対する障壁

このセクションでは、我々が観察したVDCの効果的な採用と利用に対するいくつかの障壁を簡単に探りたい。こうした障壁を認識しておくことは重要である。なぜならば、障壁がしばしば(VDCの)実装の

努力を挫折させるからである。しかし、そうした障壁は、逆にそれらを回避する方法を見つける会社や研究者らに POP 設計をより統合化し、自動化するアプローチを開発する機会を提示する。我々の経験では、以下が今日の重要な障壁のいくつかである。

- ・オーナー（CFO）はプロジェクトのコストを評価し、価値を評価しない：我々はプロジェクトの価値を決定する定式化され、一般に受け入れられた方法を持っていない。
- ・AEC（建築、エンジニアリング、施工）産業の文化と方法はコストを最小化するが価値を最大化しない：多くの IT システムはコストを明らかにするには適しているが、プロジェクトの価値に力を向けた IT システムはほとんど存在しない。これは建設に関する大学教育においても同様である。
- ・鋭い理論的な基礎：POP モデリングとプロダクト、組織及びプロセス間の様々な詳細レベル、専門分野及びプロジェクトの段階における相互作用の多くは、まだ定式化を必要としている。
- ・プロセスと理論における改善に導く利用：我々は VDC 法が存在するプロセスに対して成し遂げる改善をはっきりと表現することができる完成された評価指標に欠けている。
- ・統合化されたツール：前述の通り、現在の POP モデリングのための商用ツールと研究上のツールの間の統合化はまだ難しく、時間がかかる。

## 8. 結論

上記の多くの事例は、施設の計画、設計、施工及び操業に関する多くの企業は仮想ビルディングモデルの利用を通して、既に人間の価値と情報及び IT 資産の価値を高めている。企業は、3つの異なるタイプの仮想ビルディングモデルすなわち POP（プロダクト、組織、プロセス）モデルを使う：

- ・ビジュアル 3D 及び 4D モデル：これらのモデルはプロジェクトの早い段階で、従来の方法に比べて、より多くの利害関係者に、施設の設計、工程及び組織に対して、彼らのビジネスと技術的な知識を注入してもらえるよう関与させるのに役立つ。さらに、モデルは全てのライフサイクルの段階における調整を改良するのを支援する。こうしてモデルは、今日、商用ソフトウェアで実に速く構築することができる。通常プロジェクトの予算から資金提供されることができる。それらは、目下、企業に仕事を獲得する際に有利な立場を与えているが、我々はこの有利さは、長い間、維持できないだろうと考える。長い

期間、企業は彼らのプロジェクトにわたって、そのようなビジュアルなモデルを効果的に利用する方法を考えていく必要があるだろう。

- ・ビルディングの情報モデル：これらのタイプのモデルは分析のサイクルタイムを速くし、データの入力と移送のエラーを減らすために、ソフトウェアツール間のデータ変換を支援する<sup>2)</sup>。モデルの設定、試験及び利用については、普通プロジェクトベースでは資金は与えられず、会社の資金供給を必要とする。例えば、一つの革新的なエンジニアリング会社は、プロダクトモデルに基づいたソフトウェアの設計方法を作り、プロジェクトの他の参加者が彼らの便益のために作るプロダクトモデルの情報の使い方を習うために、その会社の研究開発グループの技術スタッフの約 10%に当たる人間を雇っている。うまく使用されれば、同じ予算で、より多くの仕事をするか、はるかに少ない予算で同じ仕事をするために、プロジェクトデータを再利用する能力は、ビジュアルモデルから得られる有利さよりも長く維持できる競争力のある有利さを提供するはずである。
  - ・自動化を支援する知識ベースのモデル：これらのモデルは、今日、プロジェクトにおいて、プロジェクトからプロジェクトへと繰り返される多くの作業を自動化するために、ビジネスと工学的知識を定式化する。これらのモデルは、多くの金銭的及び知的な投資を必要とする。しかし、完成すればそのモデルにより企業は、自社の知識ベースを速く、効果的に応用し、洗練させることができる。我々は、このタイプのモデルは、企業に大きな競争的優位性を与えると期待している。なぜなら、そうしたモデルは、企業が知識ベースを応用する一貫性と頻度を劇的に増加させ、作業を行うのに必要な時間を 1 桁から 2 桁のオーダーで減らすことにより、ある作業において競走の風景を変えるからである<sup>3)</sup>。
- 建設における IT の役割と展望に関する本論は、もちろん、現在の産業界の状況、すなわち、尚一層技術的、環境的、社会的、法的、および文化的に複雑化するプロジェクト、施設のオーナー及び彼らのプロジェクトに対する増大する経済的な圧力、そしてさらに短くなる工期といった状況に位置付けている。これらの挑戦を POP の枠組みの中に入れることにより：
- ・高機能の「プロダクト」の必要性がプロダクトサブシステム間の更なる相互依存を創造する。
  - ・広まりつつある速く同時・共同進行させる「プロセス」はリアルタイムにサブシステムに変更を波及させる（これはプログラムのサブシステムの相互依存を悪化させる。）
  - ・「組織」は、より短い時間で非常に多くの変更、例

外，決定を処理しなくてはならない。

従って，組織の情報処理能力が工期，コスト及び品質を決定する上で限界とするファクターになる。それゆえ，ITは本論文で述べたのように，組織がプロジェクトのパフォーマンスとモデル化を分析し，シミュレートし，そして予測する能力を支援する必要があるのである。

謝辞：CIFEの産業界のメンバー達は，我々の研究を支援してくれた。我々の学生及びスタッフオードや他の場所にいる同僚達からは意見や作業成果を頂いた。ここに感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) Liston, K., Fischer, M. and Winograd, T.: Focused Sharing of Information for Multidisciplinary Decision Making by Project Teams, *ITCon* (Electronic Journal of Information Technology in Construction), Vol. 6, pp. 69-81, 2001.
- 2) Kam, C. and Fischer, M.: Product Model & 4D CAD-Final Report, Technical Report No.143, Center for Integrated Facility Engineering, Stanford, CA, 2002.
- 3) Fischer, M., Liston, K. and Schwegler, B. R.: Interactive 4D Project Management System, *Proceedings The Second Civil Engineering Conference in the Asian Region* (2nd CECAR), The Asia Civil Engineering Coordinating Council, Japan Society of Civil Engineers, Tokyo, Japan, pp. 367-372, 2001.
- 4) Fischer, M., Haymaker, J. and Liston, K.: Benefits of 3D and 4D Models for Facility Managers and AEC Service Providers, *4D CAD and Visualization in Construction-Developments and Applications*, Issa, R. R. A., Flood, I., and O'Brien, W. (eds), Balkema, pp. 1-32, 2003.
- 5) Muller, J.: How to Build a Mountain: Disney takes the thrills out of building roller coasters, *Forbes*, Oct. 27, 2003.
- 6) Haymaker, J. and Fischer, M.: Challenges and Benefits of 4D Modeling on the Walt Disney Concert Hall Project, Working Paper, No. 64, CIFE, Stanford, 2001.
- 7) Hastings, J., Kibiloski, J., Fischer, M., Haymaker, J. and Liston, K.: Four-Dimensional Modeling to Support Construction Planning of the Stata Center Project, *Leadership and Management in Engineering*, ASCE, Vol. 3, No. 2, pp. 86-93, 2003.
- 8) Fischer, M.: The Benefits of Virtual Building Tools, *Civil Engineering*, ASCE, Vol. 73, No. 8, pp. 60-67, 2003.
- 9) Laitinen, J.: Model-based construction process management, Ph. D. Thesis, Dept. of Real Estate and Construction Management, KTH, Stockholm, Sweden, 1998.
- 10) Bedrick, J.: Presentation on Panel on Virtual Design and Construction, CIFE Summer Program, June 25, Stanford University, 2003.
- 11) Staub-French, S. and Fischer, M.: Industrial Case Study of Electronic Design, Cost, and Schedule Integration, Technical Report No. 122, CIFE, Stanford, 2001.
- 12) Galbraith, J.: Organization Design: An Information Processing View, *Interfaces*, Vol. 4, May, pp. 28-36, 1974.
- 13) March, J. and Simon, H. (with Guetzkow, H.): *Organizations*, Wiley, 1958.
- 14) Burton, R. and Obel, B.: *Strategic Organizational Diagnosis and Design*, 2nd Ed., Kluwer Academic Publishers, 1998.
- 15) Jin, Y. and Levitt, R. E.: The Virtual Design Team: A Computational Model of Project Organizations, *Journal of Computational and Mathematical Organization Theory* Vol. 2, No. 3, Fall, pp. 171-195, 1996.
- 16) Kunz, J. C., Christiansen, T. R., Cohen, G. P., Jin, Y., and Levitt R. E.: The Virtual Design Team: A Computational Simulation Model of Project Organizations, *Communications of the Association for Computing Machinery*, November, pp. 84-92, 1998.
- 17) Levitt, R. E., Cohen, G. P., Kunz, J. C., Nass, C. I., Christiansen, T. and Jin, Y.: The 'Virtual Design Team': Simulating How Organization Structure and Information Processing Tools Affect Team Performance, in Carley, K. M. and M. J. Prietula, editors, *Computational Organization Theory*, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, Hillsdale, NJ, 1994.
- 18) Johanson, B., Fox, A. and Winograd, T.: The Interactive Workspaces Project: Experiences with Ubiquitous Computing Rooms, *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 1, No. 2, (April-June 2002), pp. 67-75, 2002.

(2004.2.12 受付)