

道路施設管理システムインターフェースへの Web3D の応用

AN APPLICATION OF WEB3D TECHNOLOGY TO ROAD FACILITY MANAGEMENT SYSTEMS

蒔苗 耕司* 伊東 俊明**
Koji Makanae Toshiaki Itoh

【抄録】本研究では、Web3D の道路施設管理システムへの応用として、案内標識を対象とした管理システムを構築し、Web3D 技術のひとつである VRML を用いた 3 次元インターフェースの有効性について述べた。また属性データベースについては、XML を適用することにより、Web 上で利用可能なデータベースシステムを構築した。

【Abstract】A facility management system for highway guided signs was developed as an application of the web3D technology such as VRML(Virtual Reality Modeling Language). It makes clear that 3 dimensional interface utilizing web3D technologies has some advantages. The property database system of highway-guided signs based on the XML technology, are built.

【キーワード】web3D, 施設管理システム, VRML, XML, 道路標識

【Keywords】web3D, facility management system, VRML, XML, highway guided sign

1. はじめに

土木施設の管理のための情報は、竣工図等の図面がそのベースとなっている。近年では、コンピュータを活用した施設管理システム(Facility Management System)が開発されているが、現状ではその情報のベースが図面情報であることには変わりはない。一方、3次元 CAD の技術の適用により、設計情報を図面に依存しない3次元のデジタル情報として構築することも実現しつつあり、その施設管理への応用は、図面に依存しない3次元のインターフェースを有する施設管理システムの構築を可能とする可能性がある。

本研究では、道路案内標識の管理を例として、Web3D 及び XML の技術を活用した施設管理システムを構築し、3次元インターフェースの有効性について検討するものである。

2. Web3D 技術の現状と本研究の意義

(1)Web3D 技術の現状

Web3D はインターネット上で3次元環境を共有する技術であり、その代表的な標準化技術として VRML(Virtual Reality Modeling Language)がある。

VRML(Virtual Reality Modeling Language)は、Web 上でインタラクティブな3次元のオブジェクトと空間を記述するためのファイルフォーマットであり、1994年にVersion1.0が発表され、その後、機能拡張されたVersion2.0が1996年に発表された¹²⁾。1997年12月にISO(the International Organization for Standardization) /IEC(the International Electrotechnical Commission) 14772-1として認可され、VRML2.0からVRML97に名称変更している。VRMLは発表当初、3次元CGの標準フォーマットとして、高い注目を集めたが、その後、急速に関心が失われた。この原因として、文献³⁾では当時のコンピュータの処理速度やネットワークの転送速度の不足、描画やファイル圧縮技術が発展途上であったこと、コンテンツを作成するためのオーサリング環境の不足、標準化を追求しすぎたこと等をその原因として挙げている。しかし、近年ではコンピュータ環境上の問題は払拭されつつあり、EC(Electric Commerce)の普及に伴って、再びWeb3D技術が注目を集めるようになってきており、商業ベースでの技術開発と普及が進みつつある。またXML(eXtensible Markup Language)の適用も進みつつあり、Web3D Consortiumでは、VRML97の後継となるX3DでのXMLの採用を決定している⁴⁾。一方、VRMLの応用として、地形情報を表現する

* 宮城大学事業構想学部デザイン情報学科 〒981-3298 宮城県黒川郡大和町学苑1 E-mail: koji@makalab.org

** 岩手銀行

ための GeoVRML⁵⁾が Web3D コンソーシアムのワーキンググループで検討がなされ、バージョン 1.0 が公開されている。

(2)VRML 技術適用の現状

建設分野における VRML 適用の可能性について、蒔苗・藤井⁶⁾は、道路の線設計における遠隔協調作業のツールとして VRML の適用の可能性について述べている。景観設計支援のためのツールとしての VRML の適用例として、例えば巖らによる景観スタジオにおける 3 次元モデルの共有のための VRML の適用⁷⁾、禹ら⁸⁾による橋梁の景観データベースにおける 3 次元形状モデル表現としての適用がある。また萩原ほか⁹⁾は、VRML と JAVA を利用し、石炭火力発電所を例に、ネットワークを介した分散景観シミュレーションシステムの開発を行い、情報共有による意思決定の効率化が可能であるとともに、VRML の適用により高度なユーザーインターフェースをもつ景観情報システムが低コストで可能であることを述べている。榊原・細野¹⁰⁾は、地域景観シミュレーション・データベース・システムにおける 3 次元 CG データとして VRML の適用したシステムの試作を行い、快適な協調設計環境の構築が可能であることを述べている。一方、VRML の適用の問題に関して、森川・浜嶋¹¹⁾は、遠隔強調設計支援システムにおける 3 次元モデルのブラウジングのために VRML を適用しているが、データが冗長で立ち上げに時間がかかること、ブラウザの操作が一般ユーザーに難しい等の問題を挙げており、後者についてその解決の方策を述べている。

設計段階における 3 次元ライブラリとしての適用に関する研究として、三上らの研究^{12),13)}がある。これらの研究では、鋼道路橋設計情報について、AP203 と VRML とのクロストランスレータを開発し、AP203 データを表現するためのビューワーとしての VRML の適用、また VRML を用いた部材の 3 次元ライブラリ化と、その干渉チェックとしての適用を考えている。また石倉らは、構造解析や水利計算等の処理をネットワークを通じて行うシステムを開発し、その可視化のために VRML を適用し、3 次元表現の有効性を述べている¹⁴⁾。

また施工管理への VRML の適用例としては、高橋らによる、海上工事における施工管理システムにおける海底状況の 3 次元表示のための VRML の適用¹⁵⁾があげられる。米国の NIST では、Fire Research Facility Emissions Control System (ECS)の建設にあたって、VRML によるモデルを構築し、建築プロセス

を Web 上で公開している¹⁶⁾。またブルドーザー、パワーショベル、クレーン等の施工機械の VRML モデルについても、Web 上で公開している¹⁷⁾。

また維持管理への VRML への適用例として、VRML と Java ,Java3D 等との組み合わせた橋梁の点検、補修履歴の管理システムの例がある¹⁸⁾。

関連した研究として 3 次元 GIS に関する研究がある¹⁹⁾。杉原らは、GIS と CG を統合化した、3 次元の都市モデルの自動生成についての研究を行なっているが、その属性データとの関連性については述べられていない。

(3)本研究の意義

(2)に示したように、建設分野においても VRML の適用について多くの研究が行なわれている。しかし、その多くは景観設計に関するものであり、実際に施設の維持管理に適用した例は少ない。また VRML は 3 次元モデルを表現するためだけに使われている場合がほとんどであり、その 3 次元インターフェースとしての適用に関する研究は行なわれていない。

本研究では、VRML のもつアクティブリンク機能に着目し、その機能を施設管理システムへ応用することにより、3 次元インターフェースをもつデータベースシステムの実現しようというものであり、(2)に挙げた多くの VRML に関する研究とその目的を異にする。なお、本研究で構築するプロトタイプでは、道路案内標識をその対象とすることとした。

3. VRML を適用した案内標識管理システムの構築

(1)案内標識管理の現状

道路標識は、設置後においてその効用が損なわれることがないように維持管理を十分に行うことが求められる。道路標識の日常的な維持管理作業としては、適宜巡回点検を行うことと、異常を認めた場合の速やかな補修があげられる。これらの維持管理を能率よく確実にを行うために、道路標識の設置状況を記した道路標識調書の整備が必要とされる^{20),21)}。実際の管理状況について、国土交通省東北地域整備局仙台工事事務所においてヒアリングを行なった。同事務所では「道路標識台帳」として調書の整備が行なわれており、台帳では、標識の設置方式、標識柱、補修履歴、現況写真、標識位置調査などの項目が 1 標識あたり B4 判 2 枚に記載されている。同事務所では、宮城県内の国道約 450km を管理していることが

ら、台帳数が多くなり、保管スペースを大きく占有するという問題が生じている。

このような背景のもと、道路標識管理のためのシステムが必要とされており、例えば道路保全技術センターは「標識評価管理システム」を開発している。同システムは、地図上に標識位置、諸元情報、写真を表示するほか、表示地名の連続性・整合性、表示距離などをチェックし、改善すべき標識を抽出し、Excel 上で一覧表示するスタンドアロン形式のシステムである。しかし、システムの開発・導入コスト等の問題から、システムを導入している道路管理者は一部にとどまっているのが現状である。

(2) 道路標識管理システムの構成

道路標識には、規制標識、警戒標識、案内標識等があるが、本研究では道路管理者が管理する案内標識のうち、方面・方向及び距離の予告、方面及び方向の予告（「道路標識、区画線及び道路標示に関する命令」案内標識番号 106-A, 108-A, 108 の 2-A, 108 の 2-B）をその対象とする。また本研究で対象とする案内標識は、国道 4 号仙台バイパス（黒川郡大衡村～仙台市太白区）の区間とする。対象区間には 57

基の案内標識が設置されている。

本システムは、当該区間における道路線形及び区間内の道路案内標識と横断歩道橋を VRML によりモデリングし、3 次元の仮想空間内で再現する。そして、仮想空間内で再現される 3 次元の案内標識と標識データベースとを連携させ、3 次元のインターフェースを実現させようというものである。

道路標識管理システムの構成は図-1 の通り表される。

(3) 3 次元形状データモデルの構築

本システムで必要な 3 次元形状データは、道路等の基盤データモデルと管理対象とする案内標識データモデルに分類される。

基盤データモデルについては、管理対象である国道 4 号線のみを作成するものとし、道路中心線の平面座標に基づき簡易な VRML によるモデルを作成した。それ以外の基盤データに関しては、地盤を平面とみなし、ビットマップ化した地図情報をテクスチャマッピングすることにより、俯瞰した場合に、他の道路との接続関係や地名等が把握できるようにしている。

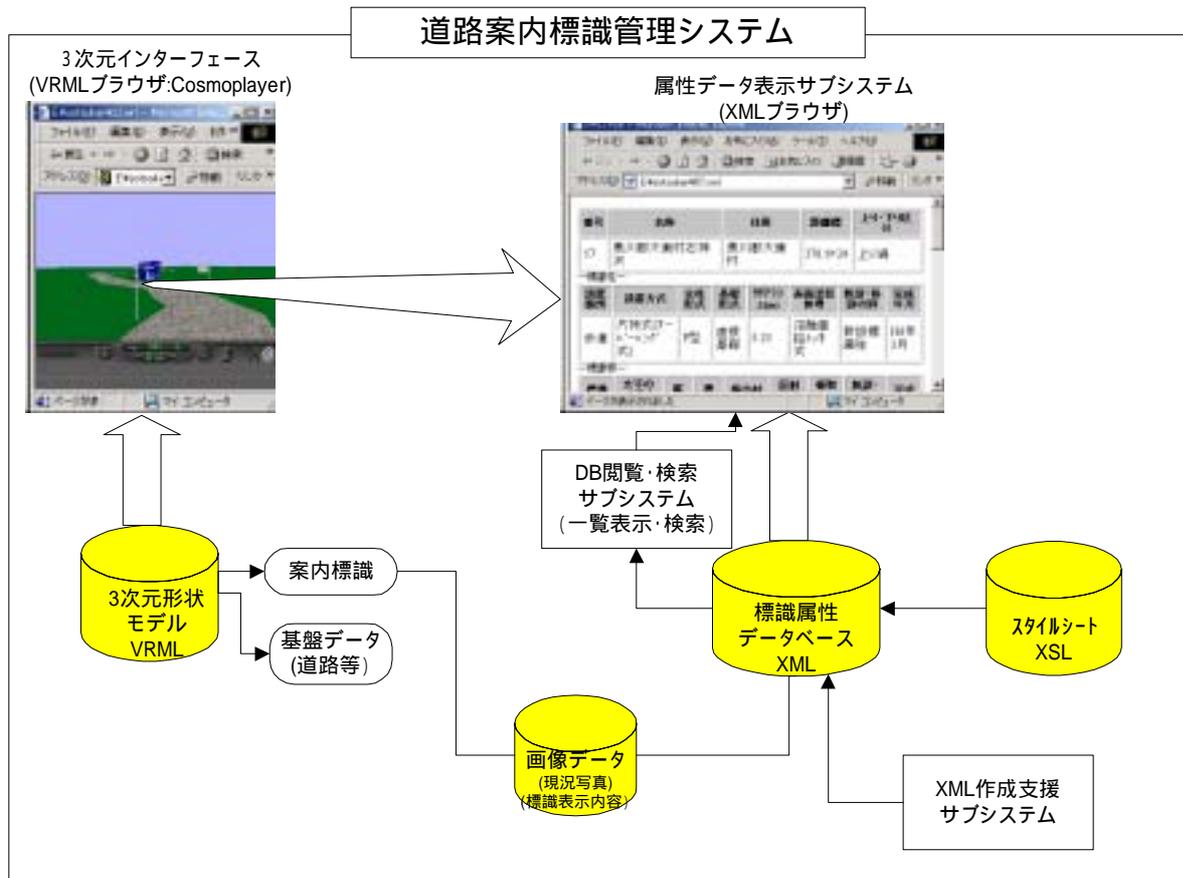


図-1 道路案内標識管理システム

管理対象物である案内標識データモデルは、VRMLのDEFノードを用いて標識柱形式(F型、逆L型、T型、門型)及び歩道橋添架式について基本形状として定義し、それらを標識位置の座標データに基づき、USEコマンドを用いて呼び出すという方法を用いている。標識板については、それぞれの実際の標識データに基づく標識板のモデルを作成し、それを配置している。

標識板の表示内容については、あらかじめ表示内容について画像データ(GIF形式)として作成し、それをテキストチャートとしてマッピングする方式を用いている。

図-2はVRMLにより作成されたF型案内標識の表示例である。

標識台帳の項目に基づき表-1の通り設定した。また現況写真については、標識台帳に貼付された写真をスキャナによりデジタル化し、そのファイル名を入力している。

属性DBは、XML(eXtensible Markup Language)形式とし、1つの案内標識に対し、1のXMLファイルが対応することとした。XMLはWorld Wide Web Consortium(W3C)により検討されているWeb上での利用を考慮した汎用的なデータ記述言語であり、1998年2月にXML1.0が公表されている²²⁾。XMLは、現在Web上で最も普及しているHTMLとは異なり、データ記述ファイルを書式設定ファイルと切り離すことにより、ユーザーによる任意のタグ設定を可能としており、建設分野においてもその応用が模索されている^{23),24),25),26)}。

(4)標識属性データベースの定義

各案内標識に対する属性DBの項目は、現状の標

表-1 属性データ項目及び各項目の入力方法

分類	項目	入力方法	備考(選択肢等)	
標識	番号	直接		
	名称	直接		
	住所	選択	仙台市太白区・仙台市若林区・仙台市宮城野区・仙台市泉区 黒川郡富谷町・黒川郡大和町・黒川郡大衡村	
	距離標	直接		
	上り・下り区分	選択	上り線, 下り線, 上下線共通	
標識柱	設置箇所	選択	路端(道路端)・歩道・路端(歩道端)・中央分離帯・交通島・その他	
	設置方式	選択	片持式・門型式・歩道橋添架式・高架橋添架式・添架式・その他	
	支柱形式	選択	F型・オーバーヘッド型・T型・逆L型・デザイン支柱・その他	
	基礎形式	選択	埋め込み型・ベースプレート型・直接基礎・その他	
	クリアランス(m)	直接		
	表面塗装処理	選択	亜鉛メッキ式・溶融亜鉛メッキ式・塗装式・静電粉体塗装・その他	
	新設・移設の別	選択	新設標識柱・移動標識柱	
	完成年月日	直接		
	標識板	標識種別	選択	106-A, 108-A, 108の2-A, 108の2-B
		文字の大きさ(cm)	直接	
縦(cm)		直接	(板の寸法)	
横(cm)		直接	(板の寸法)	
板の材質		選択	アルミニウム合金板・鋼板・その他	
反射照明方式		選択	全面高輝度・全面反射・照明なし・外部照明式・内部照明式・その他	
板取付方法		選択	固定式・吊下式・その他	
新設・移設の別		選択	新設標識板・移設標識板	
完成年月日		直接		
備考		直接		
補修履歴	補修年月	直接		
	内容	直接		
	備考(原因等)	直接		
現況写真	全景	直接	標識の全景写真の画像ファイル名	
	拡大1	直接	標識の拡大写真の画像ファイル名	
	拡大2	直接		
	拡大3	直接		

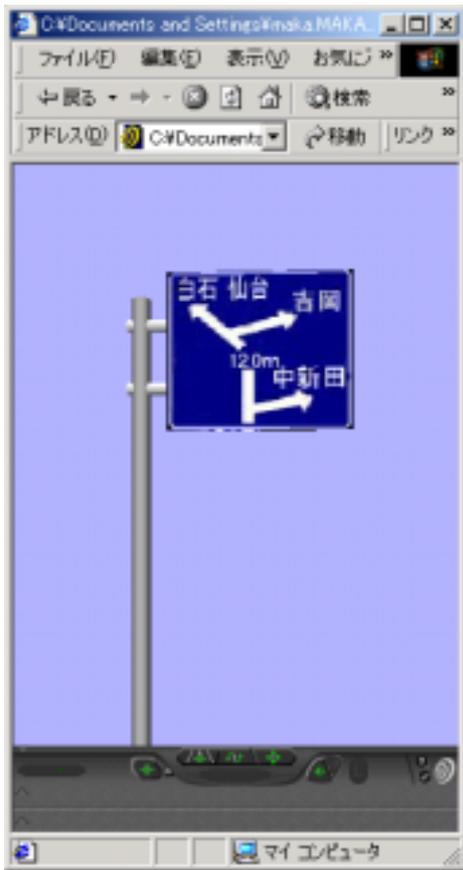


図-2 F型標識案内標識の表示例 (VRML)

(5)3次元インターフェース

VRML形式のファイルを読み込み、仮想空間を再現するためには、VRMLブラウザが必要である。代



図-4 XML・XSLによる標識属性データの表示

表的な VRML ブラウザとして、Silicon Graphics で開発した Cosmoplayer, Sony で開発した CommunityPlace 等がある。本研究では、標準的な VRML ブラウザとして Cosmoplayer 2.1 を用いている。

VRML で作成した基盤データ及び案内標識の 3次元モデルからなる VRML ファイルをブラウザで読み込むことにより、3次元の仮想空間が表現される (図-3)。ユーザーは、この仮想空間の中を自由に移動することが可能である。

案内標識の 3次元オブジェクトは対応する XML ファイルに対するアクティプリンクを有している。そのため、ユーザーは任意の案内標識をクリックすることにより、属性データを有する XML ファイル



図-3 VRMLによる仮想空間

を呼び出すことができる。

(6) DB 閲覧・検索サブシステム

VRML のアクティブリンク機能により呼び出された XML ファイルは、XML ファイルのタグと書式との関連を示した stylesheet ファイル(XSL)を参照することにより、表形式で画面上に表現される(図-4)。また関連する画像データ(現況写真等)も同時に読み込まれ、帳票上に表示されるようになっている。

標識一覧の表示やデータの検索にあたっては、本システムでは1つの案内標識に対し、1つのXMLファイルが対応することから、複数のXMLを読み込む必要がある。本システムでは、VB Script 及びhtmlを用いることにより、複数のXMLを読み込み、情報の抽出を行い、XML ファイルを再生成することにより、一覧表示(図-5)及び検索結果の表示(図-6)を可能としている。

(7)XML 作成支援サブシステム

標識属性 DB では、データはXML形式で記述されるが、DB へのデータ入力を支援するため、HTML と VB Script を用いた Web ベースのXML作成支援プログラムを作成した。各DB項目の入力方式を表-1の入力方式の欄に示す。

(8)道路案内標識管理システムの効用と問題点

本システムでは、VRML を用いた3次元インターフェースを用いている。本手法は、現実世界のミニチュアモデルをコンピュータ上に仮想的に構築しているのと同様であり、管理者はこの3次元仮想空間の中で自由に移動でき、それにより対象物の3次元形状を瞬時に把握することができるとともに、それに関する情報の取得もマウスのクリックにより可能である。すなわち、より直感的な3次元インターフェースを実現している。

本システムはVRML、XML等のWebベースの標準技術を適用しており、その汎用性が高いとともに、ネットワーク上での情報共有を容易に実現することが可能である。

4. 施設管理システムへの3次元インターフェースの応用

現状の建設プロセスの中で、設計情報の交換は図面情報が主となっている。近年の建設CALS/ECの進展により、設計情報の電子化も進みつつあるが、図面情報をそのまま2次元的にデジタル情報に置き換えたものにすぎない。一方、製造業等を中心とし

番号	名称	住所	距離	上下・下り区分	詳細
1	太白区中野七丁目	仙台市太白区	343.947	下り線	1.0m
2	太白区中野町一丁目	仙台市太白区	344.108	上り線	2.0m
3	太白区新山六丁目	仙台市太白区	345.692	上り線	2.0m
4	太白区新山七丁目	仙台市太白区	345.947	上り線	4.0m
5	太白区新山五丁目	仙台市太白区	346.345	上り線	3.0m
6	太白区新山五丁目	仙台市太白区	346.694	下り線	6.0m
7	太白区新山四丁目	仙台市太白区	346.214	下り線	7.0m
8	太白区新山宇野+田西	仙台市太白区	347.117	上り線	8.0m
9	太白区新山宇野+田西	仙台市太白区	347.279	上り線	9.0m
10	若林区若林七丁目	仙台市若林区	347.747	上り線	10.0m
11	若林区若林四丁目	仙台市若林区	347.808	下り線	11.0m
12	若林区若林五丁目	仙台市若林区	348.034	上り線	12.0m
13	若林区遠見塚二丁目	仙台市若林区	349.342	下り線	13.0m
14	若林区遠見塚二丁目	仙台市若林区	349.948	上下線共通	14.0m
15	若林区中野三丁目	仙台市若林区	350.311	下り線	15.0m
16	若林区大和町五丁目	仙台市若林区	350.944	下り線	16.0m

図-5 標識属性データの一覧表示

番号	名称	住所	距離	上下・下り区分	詳細
10	若林区若林七丁目	仙台市若林区	347.747	上り線	10.0m
11	若林区若林四丁目	仙台市若林区	347.808	下り線	11.0m
12	若林区若林五丁目	仙台市若林区	348.034	上り線	12.0m
13	若林区遠見塚二丁目	仙台市若林区	349.342	下り線	13.0m
14	若林区遠見塚二丁目	仙台市若林区	349.948	上下線共通	14.0m
15	若林区中野三丁目	仙台市若林区	350.311	下り線	15.0m
16	若林区大和町五丁目	仙台市若林区	350.944	下り線	16.0m

図-6 検索結果の表示

て3次元CADシステムが普及しつつあり、土木分野でもダム建設等、一部の分野でその導入が試みられている²⁷⁾。このような3次元CAD技術の導入は、図面情報を用いることなく、設計情報の交換を可能とすることが期待される²⁸⁾。一方、現行の施設の維持管理においては、2次元の図面情報がベースとなっており、設計情報が3次元化した場合に、その情報をそのままでは活用できないという問題が生じる。このような問題に対し、3次元化された設計情報をそのまま維持管理へも応用できるシステムの確立が不可欠である。また近年では、設計情報の3次元化に加え、オブジェクト指向の概念を取り入れた製品情報のモデル(プロダクトモデル)の開発も特に自動車産業や造船業等を中心に進みつつある、これらのモデルの普及も同様に新たな維持管理のためのシステムを要求するであろう。

Web3D と XML を用いた施設管理システム の概念モデルを 図-7 に示す .3D 形状データは ,設計情報は 3 次元 CAD システムにより 3D 形状データとして蓄積される .これらの 3D 形状データは維持段階で変換プログラムを介して ,Web3D データに変換される .これにより ,Web3D ブラウザを用いることにより ,設計物の 3 次元形状を仮想的な 3 次元空間の中で得ることが可能となる .一方 ,3D 形状モデルに付随した属性データは ,変換プログラムにより XML 形式のファイルへと変換される .この XML 形式のファイルと Web3D のファイルとのリンクを行うことにより ,3 次元インターフェースが構築できる .Web3D 及び XML データのデータはネットワークでの情報共有のための中間ファイルとして機能しているが ,Web ブラウザ側からの XML の修正は許容するが ,Web3D についてはブラウザ側からの修正は不可能とした一方通行の流れとせざるを得ない .それは ,現状では Web3D で表現できる形状に制約があるとともに ,STEP(Standard for Exchange of product data model; ISO10303)のアプリケーションプロトコル²⁹⁾³⁰⁾³¹⁾のような製造物に応じた独自のデータ構造が規定された場合 ,汎用的なフォーマットである Web3D からの逆変換が困難であるためである .将来的には建設分野でも標準的なプロダクトモデルが規定されると考えられ ,それに適応した 3 次元ブラウザの開発は中間フォーマットを不要とし ,より効率的な管理システムの構築の実現を可能とすると思わ

れる .

5 . むすび

本研究では ,Web3D の道路施設管理システムへの応用として ,実際に案内標識を対象とした管理システムを構築し ,web3D 技術のひとつである VRML を用いた 3 次元インターフェースの有効性について述べた .また属性データベースについては ,XML を適用することにより ,Web 上で利用可能なデータベースシステムを構築した .

Web3D のインターフェースとしての適用は ,図面に依存しない施設管理システムの構築を可能とする .将来的な 3 次元設計技術の普及と 3 次元モデルの利用技術は ,設計 ,施工 ,維持管理といった製品のライフサイクルにわたる 3 次元形状データ及びそれに付随した属性データの流通を促進するものと考えられる .

現状の web3D の技術はまだ発展途上の技術であり ,データ量や処理速度 ,表現力等の面でまだ問題が多い .しかしながら ,コンピュータ技術の進歩がこれらの問題を払拭することは時間の問題と考えられ ,その応用技術についてさらなる研究を進めていく必要がある .

謝辞

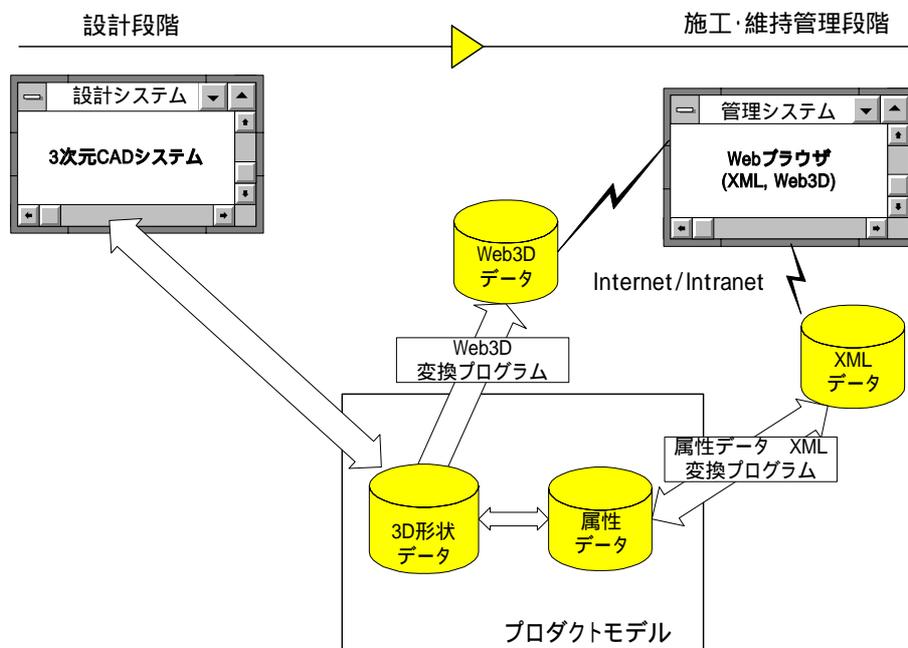


図-7 Web3D と XML を用いた施設管理システム の概念モデル

本研究を進めるにあたって、宮城大学長 福田 正教授には貴重な議論をいただいた。資料提供及びヒアリング等では、国土交通省東北地方整備局仙台工事事務所交通対策課の方々に多大な協力をいただいた。ここであらためて謝意を表す。

参考文献

- 1) Web3D Consortium: <http://www.web3d.org/>
- 2) Hartman, J. and Waernecke, J.: The VRML 2.0 Handbook, Silicon Graphics, Inc, 1996.
- 3) 日経 CG : Web3D の復活, 日経 CG, Vol.164, pp.52-73, 2000.
- 4) 鳥谷浩志: Web3D の課題と対策を提示・新規ビジネスを展望する, 日経 CG, Vol.169, pp.152-159, 2000.
- 5) GeoVRML.org: <http://www.geovrml.org/>
- 6) 蒔苗耕司・藤井章弘: VRML を利用した道路の線形設計, 第 21 回土木情報システムシンポジウム講演集, pp.185-188, 1996.
- 7) 敵 網林・友松貴志: 情報環境での景観デザインに向けて - "景観スタジオ" の構築, 第 21 回土木情報システム講演集, pp.133-136, 1996.
- 8) 禹 成浩・福田知弘・草間晴幸・笹田剛史: 橋梁環境デザインにおける VRML の利用, 土木情報システム論文集, Vol.5, pp. 91-98, 1996.
- 9) 萩原豊・渡辺成子・楨良人: VRML と JAVA による分散景観シミュレーション, 第 22 回土木情報システム講演集, pp.167-170, 1997.
- 10) 榊原和彦・細野高宏: 地域景観シミュレーション・データベース・システムの協調設計への利用に関する研究, 第 23 回土木情報システム講演集, pp.47-50, 1998.
- 11) 森川直洋・浜嶋鉦一郎: B-ISDN による遠隔協調設計支援システムの高度化実験, 第 23 回土木情報システムシンポジウム講演集, pp.129-132, 1998.
- 12) 三上市蔵・田中成典・窪田諭: 鋼道路橋設計情報に関する AP203 と VRML のトランスレータの基礎的研究, 土木情報システム論文集, Vol.8, pp.73-80, 1999.
- 13) 三上市蔵・田中成典・石井由美子: 部材 CG ライブラリを用いた橋梁設計 CG システムに関する基礎的研究, 第 24 回土木情報システムシンポジウム講演集, pp.165-168, 1999.
- 14) 石倉正英・エリック クルーズ, 青野利夫: Java, VRML を利用したリモート数値解析システムの開発, 第 22 回土木情報システム論文集, pp.187-190, 1997.
- 15) 高橋宏直・吉村藤謙・重松文治・石川義秀: データコミュニケーションによる海上工事施工管理システム構築, 土木情報システム論文集, Vol.7, pp.9-16, 1998.
- 16) Nation Institute of Standards and Technology: <http://cic.nist.gov/vrml/ecs.html>
- 17) Nation Institute of Standards and Technology: <http://cic.nist.gov/vrml/equip.html>
- 18) 三上市蔵・田中成典・石井由美子: 三次元モデルライブラリを利用した点検・補修履歴の管理システム, 第 25 回土木情報システムシンポジウム講演集, pp.21-24, 2000.
- 19) 杉原健一・ハンマード アミン・林良嗣: GIS と CG の統合化システムによる都市の 3 次元モデルの自動生成とその活用, 土木情報システム論文集 Vol.5, pp.91-98, 1996.
- 20) 社団法人日本道路協会: 道路標識設置基準・同解説, 日本道路協会, 1987.
- 21) 菊川滋編著: 道路維持管理ポケットブック, 山海堂, 1999.
- 22) XML/SGML サロン: 標準 XML 完全解説, 技術評論社, 1998.
- 23) The IAI aecXML Domain Committee : <http://www.aecxml.org/>, 1999-2000.
- 24) Autodesk, Inc : <http://www.landxml.org/>, 2000.
- 25) 矢吹 信喜・宮島 良将・小室 雅人・Kincho H. Law : XML と事例ベース推論による鋼構造接合部の設計生成システムの構築, 土木情報システム論文集 Vol.9, pp.101-110, 2000.
- 26) 石倉正英・山本隆彦・大岩忠男・畑久仁明: XML のインターネット土木技術情報データベースへの適用, 第 25 回土木情報システムシンポジウム講演集, pp.49-52, 2000.
- 平成 5・6 年度土木 CAD 小委員会研究報告書, 土木学会土木情報システム委員会, 1995.
- 27) 土木 CAD 小委員会: 平成 9・10 年度土木 CAD 小委員会活動報告書, 土木学会土木情報システム委員会, 1999.
- 28) 蒔苗耕司: 3 次元による設計と設計情報のあり方, 平成 11 年度土木情報システム仙台セミナー'99, (社)土木学会, pp.15-19, 1999.
- 29) EASTMAN, E.M.: Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction, CRC-Press, 1999.
- 30) Julian Fowler: STEP for Data Management Exchange and Sharing, プラント CALS 研究会誌, 工業調査会, 1997.
- 31) 木村文彦・小島俊雄: 製品モデル表現とその利用技術 - STEP, 日本規格協会, 1995.