

第4回公開シンポジウム「昔からビッグデータ～情報基盤
でスマートに動かすインフラのスケール感を知る」

東京大学空間情報科学研究センター「次世代社会基盤情報」寄付研究部門
及び 土木学会 土木情報学委員会 主催

2013年1月29日(火)9:30～18:45

東京大学駒場第Ⅱキャンパス(生産技術研究所内)An棟2階コンベンションホール

土木情報の モデリング・三次元化

大阪大学 大学院工学研究科

環境・エネルギー工学専攻 教授 Ph.D.

矢吹 信喜

(土木学会 土木情報学委員会 委員長)

Nobuyoshi Yabuki (c) 2013

1

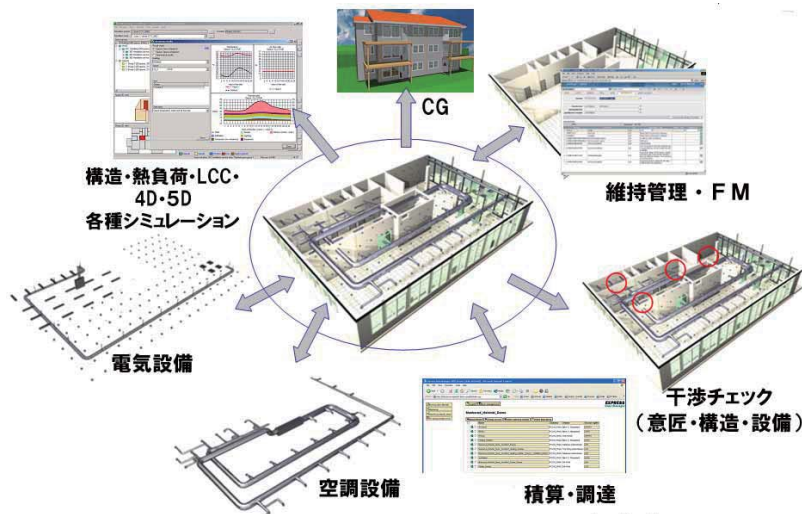
建築で良く聞く“BIM”とは？

- Building Information Modelingの略.
- 2005年頃から、突然、流行りだした用語.
- オブジェクト指向技術に基づく3次元のプロダクトモデルを中心として、種々の異なるソフトウェアでデータを交換、共有しながら、意匠、構造、設備、生産など異なる分野の技術者およびオーナーなどが協動的・効率的に素早く建築構造物の設計を行うための技術.
- BIMの中核は、3次元のプロダクトモデル。IAI(現在は、buildingSMARTに改称)のIFC(Industry Foundation Classes).
- 2次元のCAD図面ではない.
- ただの3次元CADデータでもない.
- 標準化されたデータモデル(仕様)であり、その仕様に基づいてデータは作成される.
- BIMへの関心が高まっている.

Nobuyoshi Yabuki (c) 2013

2

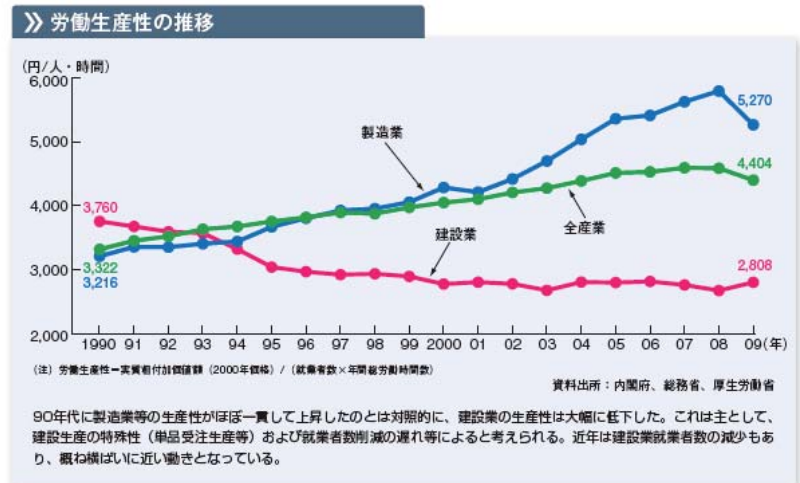
BIMで種々のアプリケーションが統合化できる



Nobuyoshi Yabuki (c) 2013 Source :IAI, AEC3 (TLC)

3

背景には、建設業の労働生産性の低さがある



出典：「建設業ハンドブック2011

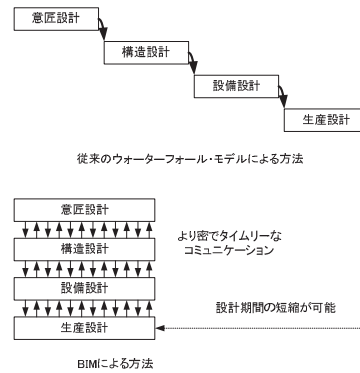
」日本建設業団体連合会

Nobuyoshi Yabuki (c) 2013

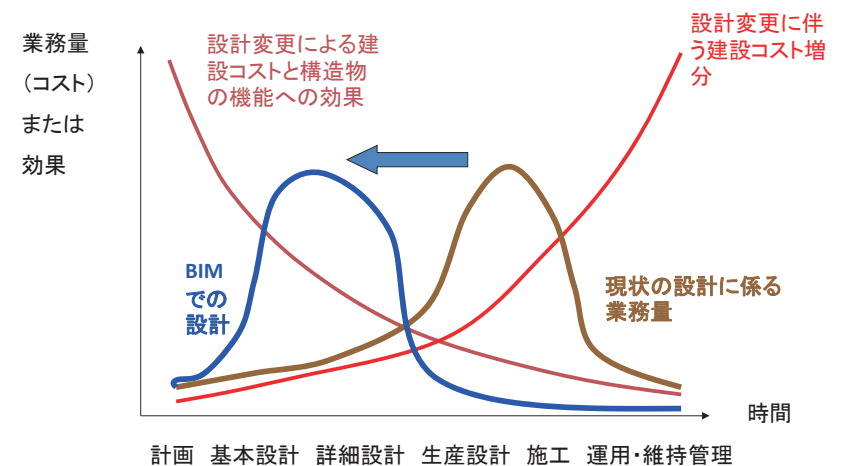
4

BIM

- 建築分野での、
 - 意匠設計↓
 - 構造設計↓
 - 設備設計↓
 - 生産設計
 といった順番に行う設計プロセスを、3次元の製品モデルを中心として、プロジェクトの初期の段階に、皆で、同時進行的・協動的・協力的に、短期間で、ほぼ全て行ってしまおうとすること。
 - 意匠設計
 - 構造設計
 - 設備設計
 - 生産設計
- 効率化、ミスの低減、コスト削減、およびより良い設計・施工の実現が期待できる。



BIMのねらい



日本におけるBIMプロジェクト

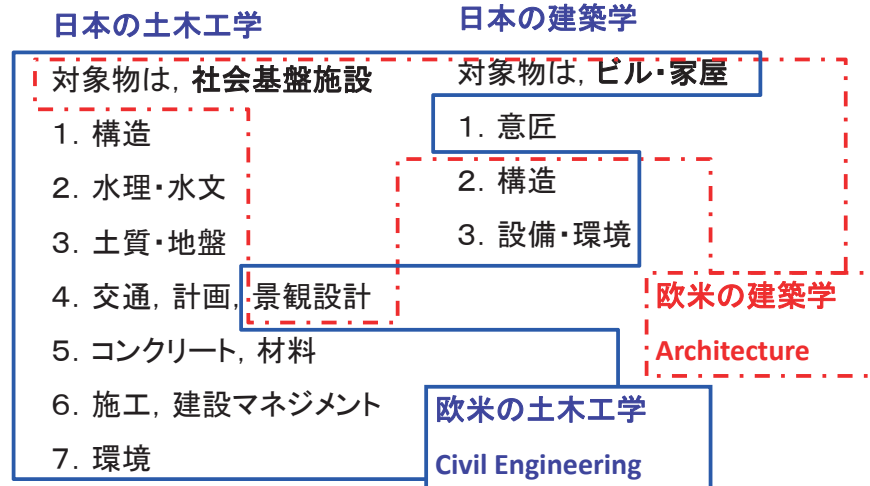
- 2010年3月、国土交通省は2010年度にBIMの試行を開始。
- 2010年度、新宿労働総合庁舎のビルにBIMが適用された。
- 次に、海上保安庁 海洋情報部庁舎、前橋地方合同庁舎がBIM試行プロジェクトとして遂行。
- 民間ベースのBIMプロジェクトとしては、ソニーCity大崎ビルディング、ホキ美術館、日本ガス協会ビル建替計画、北里大学病院、青山大林ビル等がある。



CIM

- 2012年、国土交通省の佐藤直良事務次官(当時、技監)が、建築のBIMに刺激を受け、土木分野で' CIM (Construction Information Modeling)' という造語により、「土木版BIM」を提唱し、試行を始めた。
- 但し、CIMという言葉は、情報や機械工学分野では、Computer Integrated Manufacturing (コンピュータ統合生産)を意味し、昔から使われている用語なので、日本の土木分野以外で使用する際は、注意を要する。
- ここで、CIMや情報化施工の話に入る前に、土木と建築という分類と欧米のCivil EngineeringとArchitectureの分類について触れる。

日本と欧米の違い (日本の土木・建築の分類はガラパゴス)



Nobuyoshi Yabuki (c) 2013

9

BIMの歴史と今

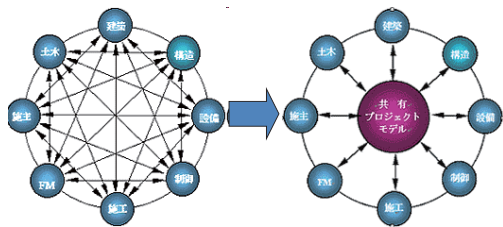
- 機械・製造分野では、70年代からCAD/CAM/CAE, その後のコンカレント・エンジニアリングとして、約30年以上の歴史。
- 70年代に、CADデータ標準IGES (Initial Graphics Exchange Specification) が制定。
- 80年代初期のオブジェクト指向技術の誕生を機に、単なる3次元CADからモデルベース設計へとコンセプトが変わった。Feature-based designとかObject-based design。
- 米国では、80年代から土木建築分野で3Dモデルによる統合化の研究開始(例:スタンフォード大学のCIFE (Center for Integrated Facility Engineering))
- プロダクトモデル(単なるCAD標準ではない)
- 米国では、PDES(Product Data Exchange Standard)の開発開始。
- 同時期に、ヨーロッパでは、ISO, TC184, SC4がISO-10303, 略称STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data)の開発開始。後に、PDESを吸収。
- 機械分野では、ISO-STEPのプロダクトモデルの仕様作成は進んだが、建築・土木分野は進まなかった。

Nobuyoshi Yabuki (c) 2013

10

建築分野のプロダクトモデルはIFC

- 1994年
 - 米国の12社でコンソーシアム、IAI (Industry Alliance for Interoperability) を設立。当初はIndustryだった。
- 1995年
 - 他の会社や国外も勧誘。
- 1997年
 - IAIをInternational Alliance for Interoperabilityに改名。AEC (Architecture, Engineering & Construction) のプロジェクトモデル、IFC (Industry Foundation Classes) を開発する国際的な非営利団体に。(民間主体)
- 最近、IAIは、buildingSMARTへ改名中。日本は、まだ「一般社団法人 IAI日本」。
- 現在
 - IFCは、ISOのPAS (Publicly Available Specification)。
 - IFC2x4は、ISOのIS (国際標準) に2013年3月に正式になる予定。



Nobuyoshi Yabuki (c) 2013

なぜ2次元CAD図面やただの3次元CADデータでは駄目で、3次元プロダクトモデルでなくてはいけないのか？

- 2次元図面は、人間が見れば、何を表している図なのか、ある部材の寸法はいくつかのか、誰でもわかる。
- しかし、2D-CAD図面は、単なる線、円、文字、模様データの集合。「部材」をコンピュータに認識させることは困難。
- 例え、ある部分(線の集合)が「桁」だと認識させても、平面図、断面図、立面図などの整合を取ることは困難。
- 3次元CADであれば、部材ごとに作成できるので、2次元CAD図面よりはまし。しかし、ただの3次元CADデータは他のソフトウェアとの間で互換性がない。
- 3Dプロダクトモデルデータの場合、オブジェクト指向技術に基づいて、部材の形状や属性データを互換性のあるテキストファイルで表現する。
- 3Dプロダクトモデルデータは、コンピュータが「理解」できる。
- **建築は、BIMを契機に、3次元化を進めている。**



Nobuyoshi Yabuki (c) 2013

12

パラダイムシフト

	従来	90年代から始まったシフト
情報伝達	人間から人間	人間からコンピュータ コンピュータからコンピュータ コンピュータから機械
メディア	紙 人間が読める電子 ファイル	人間も読めるがコンピュータ や機械が「理解」できる電子 ファイル
情報の主な消費者	人間	コンピュータ 機械

- 2次元のCAD図面ファイルを他のCADソフトで読めるようにしても、それはあくまで図面ファイルを読み込んだだけで、構造物のデータを機械が「理解」したわけではない。
- コンピュータや機械が読んで「理解」出来るオブジェクト指向技術に基づいた3次元モデルに移行しなければ、21世紀の本当の情報革命には乗り遅れる。

Nobuyoshi Yabuki (c) 2013

13

土木・建築分野の設計・施工情報の伝達

- 大昔は、見よう見まね？(文字がなかったから不明だが、想像)
- 次の時代は、絵、単純なレイアウト図、模型。設計者が現場で直接指示。
- 19世紀、フランスのモンジュが画法幾何を創始。図学が生まれた。
- 20世紀、青図が一般化し、大きな図面のコピーが可能に。設計者と施工者が少しずつ分離できるようになった。
- 1950年頃、第三角法が第一角法より一般的に利用されるようになった。製図方法が確立。
- 設計者と施工業者が分離できるようになった。
- 現在のような図面の描き方は、高々数十年の歴史。
- 設計・施工情報の伝達手法は、技術革新(文字、紙、画法幾何、青図、製図法など)によって、変革を遂げてきた。
- それによって仕事の進め方も大きく変化してきた。
- 今後は、コンピュータ技術(ICT)によって、大きく変わろうとしている。
- 3次元化。モデルベース。協調的仮想環境(CVE)。
- 米国では、IPD(Integrated Project Delivery)を目標としている。

Nobuyoshi Yabuki (c) 2013

14

プロダクトモデル

1970年代

- CADデータ標準IGES (Initial Graphics Exchange Specification)

1980年代

- オブジェクト指向技術の誕生
- 単なるCAD図形の標準(IGES)ではなく、プロダクト(梁、柱、窓などのオブジェクト)単位で表現できるデータモデルの確立が急務に。
- 形状情報は、2次元ではなく、3次元。3次元のプロダクトデータモデル。
- 米国では、PDES(Product Data Exchange Standard)の開発開始。
- 同時期に、ヨーロッパでは、ISO, TC184, SC4がISO-10303, 略称STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data)の開発開始。

1991年

- PDESがISO-STEPに合併吸収され、ISO-STEPに統一。

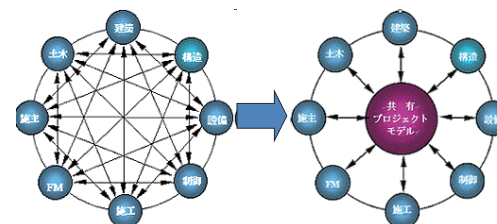
その後、ISO-STEPでApplication Protocols (AP)等や言語EXPRESS等が開発された。機械、造船等では3次元プロダクトモデルのスペックが開発されたが、建設分野は遅れた。

Nobuyoshi Yabuki (c) 2013

15

建築分野のプロダクトモデルはIFC

- 1994年
 - 米国の12社でコンソーシアム、IAI (Industry Alliance for Interoperability)を設立。当初はIndustryだった。
- 1995年
 - 他の会社や国外も勧誘。
- 1997年
 - IAIをInternational Alliance for Interoperabilityに改名。AEC (Architecture, Engineering & Construction)のプロジェクトモデル、IFC (Industry Foundation Classes)を開発する国際的な非営利団体に。(民間主体)
- 最近、buildingSMARTへ改名。日本は、まだ「一般社団法人 IAI日本」。
- 現在
 - IFCは、ISOのPAS (Publicly Available Specification)。
 - IFC2x4は、ISOのIS (国際標準)に近々なる予定。



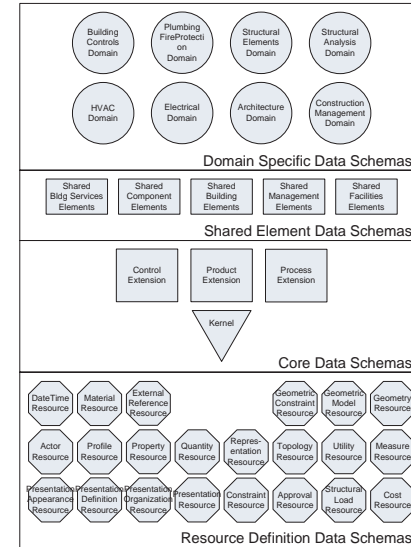
Nobuyoshi Yabuki (c) 2013



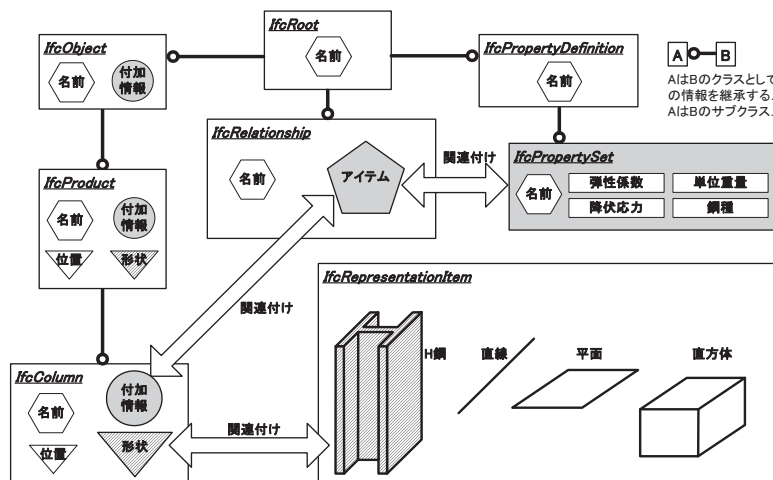
IFC (Industry Foundation Classes)

- IAI (現在は, buildingSMART) という国際的なコンソーシアムが策定している建設プロジェクトのためのプロダクトモデルの仕様(スキーマ).
- ISO/PAS 16739であるが, 2013年, 正式にISO/IS 16739となる予定.
- IFCは, ISO 10303 (STEP)で規定されている言語EXPRESSおよびEXPRESS-Gによって記述されている.

IFCの構成



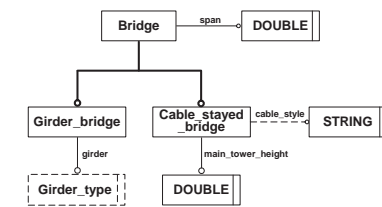
IFCの基本全体構成



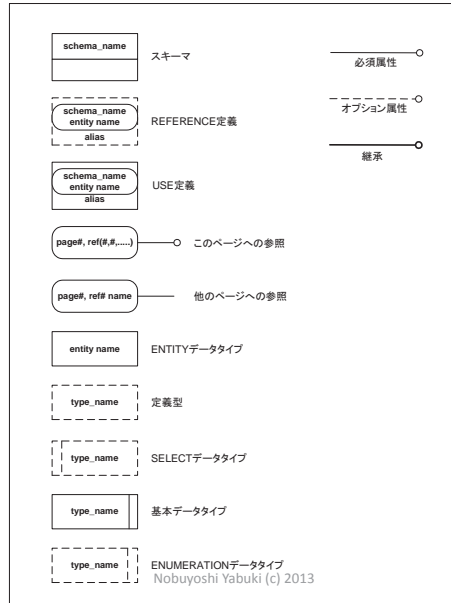
ISO-STEPのEXPRESSとEXPRESS-G言語によるプロダクトモデルの表現例

```

SCHEMA example14:
TYPE Girder_type = ENUMERATION OF (I_Girder, Composite, Box);
END_TYPE;
ENTITY Bridge
SUPERTYPE OF (ONEOF (Girder_bridge, Cable_stayed_bridge)):
span : DOUBLE;
UNIQUE
URI : span;
END_ENTITY;
ENTITY Girder_bridge
SUBTYPE OF (Bridge):
girder : Girder_type;
END_ENTITY;
ENTITY Cable_stayed_bridge
SUBTYPE OF (Bridge):
main_tower_height : DOUBLE;
cable_style : OPTIONAL STRING;
END_ENTITY;
END_SCHEMA;
    
```



ISO-STEPのEXPRESS-Gの凡例



ISO-STEPのPart-21 Fileの例

```

ISO-10303-21;
HEADER;
FILE_DESCRIPTION(' ', 2:1);
FILE_NAME('AP202SAMPLEFILE01.p21', '2005-10-15T10:40:07',
('shitani'), (' '), 'STEP version 1.0', 'AutoCAD2002', ' ');
FILE_SCHEMA(('sample'));
ENDSEC;
DATA;

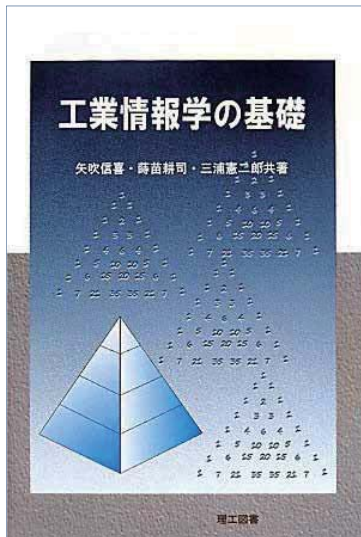
..... (略)

#11=GIRDER_BRIDGE(50, 'l_Girder')
#14=CABLE_STAYED_BRIDGE(100, 'Harp', 20);
#17=AXISPLACEMENT(#24, $, $);
#24=CARTESIANPOINT(2.000000E+00, 0.000000E+00, 0.000000E+00);

..... (略)

ENDSEC;
END-ISO-10303-21;
  
```

拙書「工業情報学の基礎」の紹介



矢吹信喜, 蒔苗耕司, 三浦憲二郎共著
理工図書(株), 2011. 2,200円(税別)

目次

1. 情報の基礎
2. 集合
3. 関数と関係
4. 組合せ
5. グラフ理論
6. 論理学の基本
7. プログラミング言語とマークアップ言語
8. データ構造
9. 探索、整列と最適化
10. データモデルとデータベース
11. オブジェクト指向技術
12. 3次元形状モデリング
13. バーチャルリアリティ
14. プロダクトモデル

最近の土木の「情報化施工」

- 3次元の設計データとTS(Total Station)あるいはRTK-GNSS (Real Time Kinematic – Global Navigation Satellite System)などの測量データを利用して施工機械を自動的あるいは半自動的に稼働させるとともに、出来形や品質データを自動的に得て検査を効率化することを意味することが増えてきた。
- 一つは、ICTを用いて建設機械の自動化であり、例としては、バックホウなどの掘削盛土機械に3次元設計データを入力し、TSやGNSSによる位置データから、丁張りなしで制御できるようにオペレータに指示するマシンガイダンス技術やブルドーザやグレーダの排土板の高さを、やはり3次元設計データと機械の位置情報から、油圧を使って、自動制御しながら敷き均しを行うマシンコントロール技術。
- もう一つは、設計・施工時の情報を基にした技術者の判断や監理の高度化であり、例としては、TSやGNSSを用いた出来形管理技術、ローラの走行軌跡や加速度応答から締固めや強度など品質を管理する技術など。



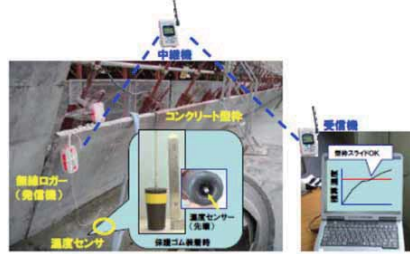
油圧ショベルのマシンガイダンスシステム技術(例)



グレーダのマシンコントロール技術(例)



施工管理データを搭載したTSを用いた出来形管理技術(例)



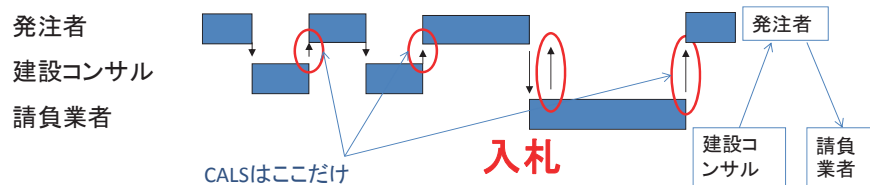
無線付き温度計を用いたコンクリートの品質管理(積算温度)(例)

「情報化施工推進戦略」情報化施工戦略会議、2008.7より抜粋

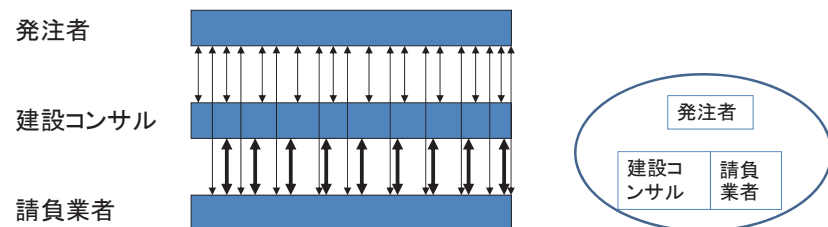
情報化施工は3次元データが必要

- マシンガイダンス, マシンコントロールで, 施工機械が必要とするデータが明確.
- そのデータが既に民間である程度, 標準化されている.
- 国も, 出来形管理や出来形検査に必要なデータを明確にしつつあり, そのためのデータの標準化を実施している.
- 情報化施工は成功すると予想している.
- なぜなら, 人間が見てわかるデータ(図面や文書)ではなく, コンピュータやマシンが読んで理解できる本当に必要なデータを供給しようとしているからだ.
- 人間が見てわかることを目的とした書類を電子化しても, 効果はあることはあるが, 限定的. コンピュータや機械同士でデータのやり取りが自動的に出来れば, その効果は非常に大きくなる可能性がある.
- **土木施工は3次元モデルデータを要求している.**
- **しかし, 発注者も建設コンサルタントも3次元に対応できていなかった.**

現在のプロジェクトの進め方(甲乙, 閉鎖, 非協調的)



これからの進め方(フラット, オープン, 協調的)



土木用3次元プロダクトモデルの必要性

- このように, 発注者, 建設コンサルタント, 請負業者, さらには, 下請け, 孫請け, 2次製品製造会社などが, 情報を共有しながら, スムーズに仕事を進めていくためには, 何らかの「ある程度標準化された」土木用の3次元プロダクトモデルが必要.
- さもないと, 異なるソフトウェア間で, いちいち人間が手作業により, データ入力を行わなくてはならず, 非効率的であり, ミスも誘発する.

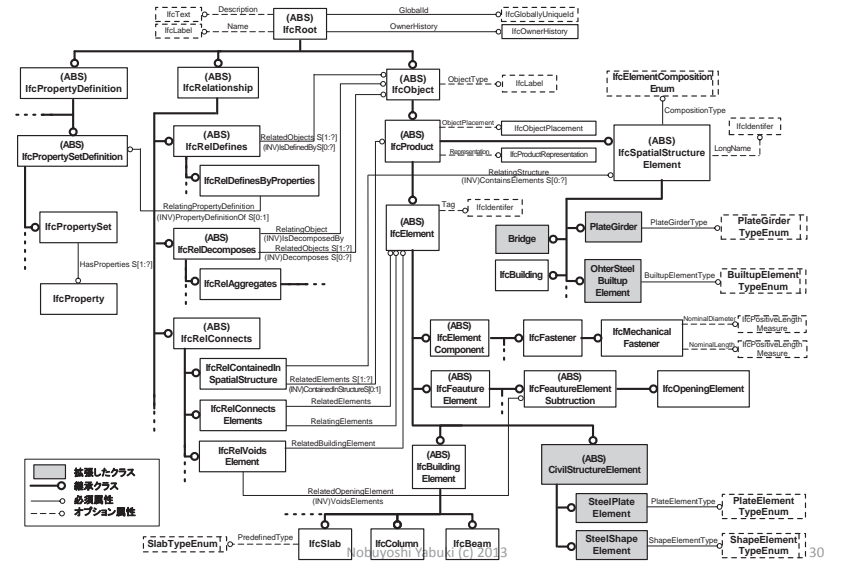
橋梁の製品モデル: IFC-Bridge

- 土木分野で、最も早くから3次元化を進めていたのは、鋼橋の製作部門。
- 鋼橋の設計
 - 設計コンサルが2次元図面を作成。
- 鋼橋の製作
 - 発注者から渡される2次元図面をもとに、3次元CADで詳細な設計。
 - カンバーを考慮した実寸法3次元モデルデータ。
 - 3次元モデルデータをCAMへ。罫書き。NC。
 - 鋼橋の工場内での仮組み検査の代わりに、3次元CADでバーチャル仮組みで検査。(発注者も認めつつある。)
- 鋼橋では、各企業が独自のデータモデルを開発。
- 公開された共通の鋼橋製品モデルは企業からは発表されていない。
- 2002年頃、室蘭工大・矢吹研(当時)では、IFCを拡張する形で、鋼桁橋とPC橋梁の製品モデルを開発した。

Nobuyoshi Yabuki (c) 2013

29

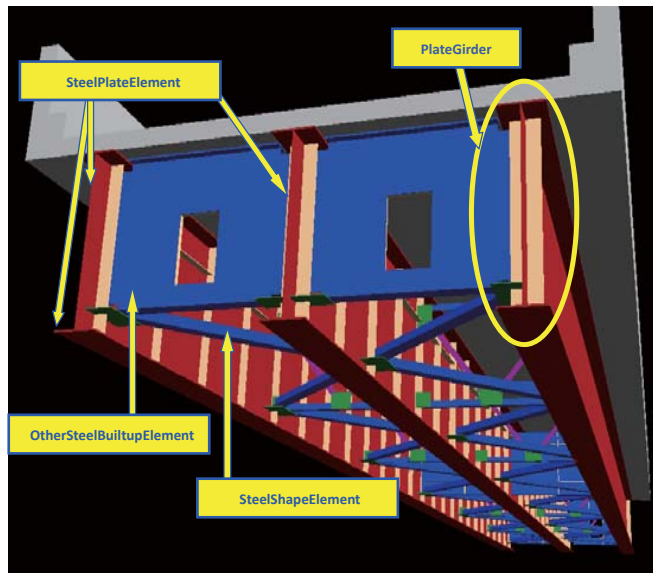
鋼桁橋製品モデル YLSG-BRIDGE (一部)



Nobuyoshi Yabuki (c) 2013

30

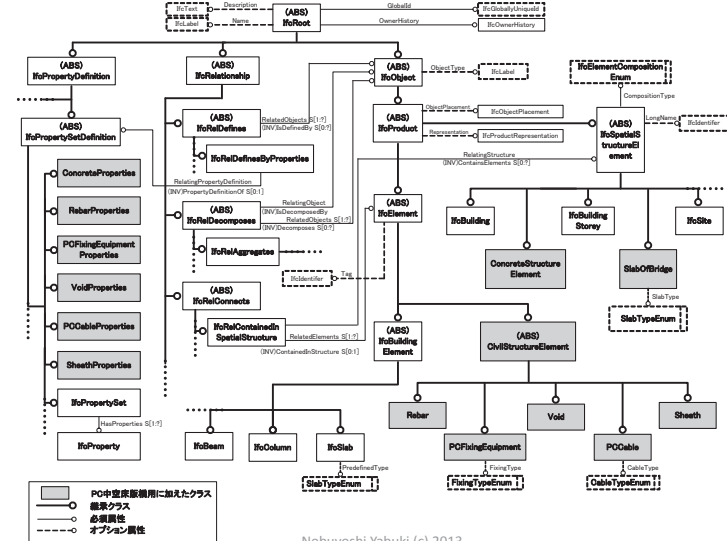
鋼桁橋の3次元製品モデルのデータを3次元CGで表現したもの



Nobuyoshi Yabuki (c) 2013

31

PC橋梁製品モデル YLPC-BRIDGE (一部)

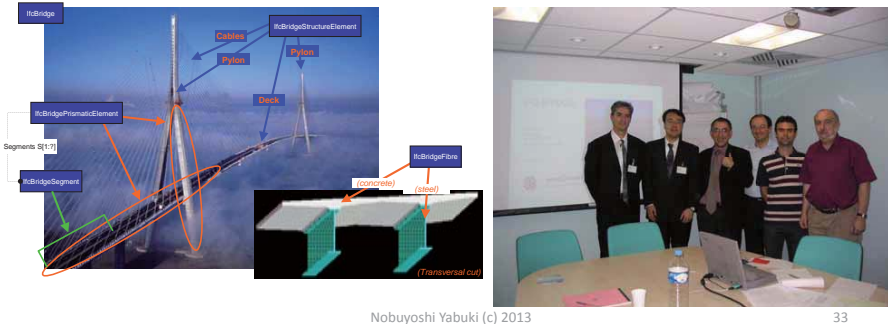


Nobuyoshi Yabuki (c) 2013

32

IFC-BRIDGE

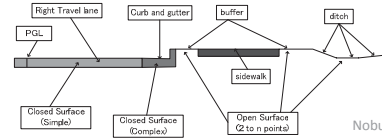
- IAIフランス支部では、CSTB(フランス国立建築研究所)とSETRA(道路および高速道路技術研究センター)が中心となり、IFCを拡張する形で橋梁の製品モデルIFC-BRIDGEを開発した。
- 矢吹研の橋梁製品モデルとIFCをベースとしている点で共通していたため、統合化することとした。



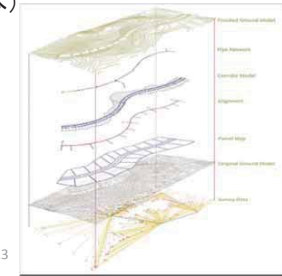
Nobuyoshi Yabuki (c) 2013

道路プロダクトモデル: LandXML

- 土地造成や道路で一般に使われる土木設計や測量データのためのXMLファイルフォーマット。
- LandXML.org(開発運営組織):37カ国, 441メンバー(2006年7月現在)。
- しかし, LandXML.orgは最近, あまり活動しておらず, そのウェブサイトを開鎖した。
- そのため, 後述のOpenINFRAがLandXMLを継続してサポートすることになった。
- その他の道路製品モデル
 - 道路中心線形データ交換標準(案)(日本)
 - JHDM(日本)
 - TransXML(米国)
 - OKSTRA(ドイツ)
 - EuroRoadS(ヨーロッパ)

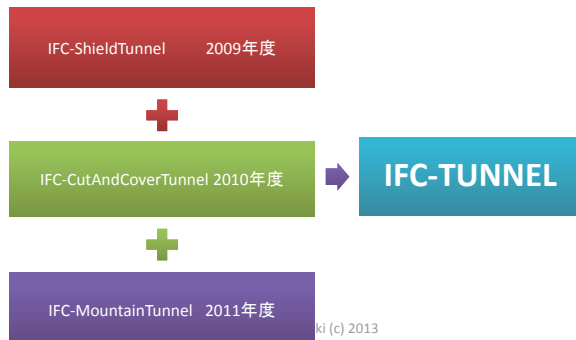


Nobuyoshi Yabuki (c) 2013



IFC-ShieldTunnel, IFC-Tunnel

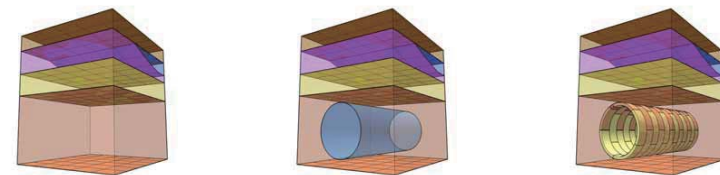
- 2005年頃から、JACICと矢吹らで、IFC-ShieldTunnelを開発。
- その後、IAI日本土木分科会、土木学会情報利用技術委員会国土基盤モデル小委員会などで、議論を重ね、IFC-ShieldTunnelを改良。
- さらに、開削トンネル、山岳トンネルに関する製品モデルを開発。
- これらを統合化して、IFC-Tunnelを開発中。
- OpenINFRAコンソーシアムでも講演して紹介しており、将来の国際標準を目指す。



ki (c) 2013

(株)コンポート 有賀氏の作成した発表資料から

シールドトンネルモデル



地盤

空間

覆工

1. 固体や液体で構成される地盤
2. 地盤を掘削して空間(空洞)を形成
3. 空洞をセグメント等で支保する

Nobuyoshi Yabuki (c) 2013

OpenINFRA

- buildingSMART International の中に、土木構造物のようなインフラストラクチャを対象としたプロダクトモデルの開発と標準化を推進する目的で、フランスを中心にヨーロッパの数か国が集まって、活動している。
- 米国は側方支援。
- アジアは遠いので、毎回直接参加は難しい。
- インターネットのWebExで運営会議に参加しているが、時差もあるし、日程が合わないこともある。
- ヨーロッパ(フランス中心)で土木BIMのデファクトスタンダードを作ってしまうおとしているようだ。
- 日本はどういうスタンスで行くのか？

Nobuyoshi Yabuki (c) 2013

37

土木学会では情報利用技術委員会を 「土木情報学委員会」に改名

「土木情報学」の定義:

土木分野における「情報」に着目し、その取得、生成、処理、蓄積、流通、活用を図るための理論と技術を探求する学問である。

- 学問にするための条件
 1. 学問体系(教育体系)
 2. サイエンス
 3. 論文集 → 土木学会論文集F3(土木情報学)

Nobuyoshi Yabuki (c) 2013

39

2012年10月19日 OpenINFRA東京 Meeting開催

- JACICの3階会議室に30名以上が集まり、3時間にわたり会議。
- 英国、米国、フランス、フィンランド、ノルウェー、韓国
- 日本: 国交省、JACIC、土木学会土木情報委員会関係者
- buildingSMART事務局長Christopher Groome氏から「IFCがISOのISになることが決まったので、今後3年間は、土木(インフラ)へのIFCの拡張に注力する」という力強い発言があった。



Nobuyoshi Yabuki (c) 2013



38

International Conference on Civil and Building Engineering Informatics
November 7-8, 2013
Tokyo, Japan

ICCBEI 2013



www.iccbei.com

土木建築情報学に関する国際会議

開催日: 2013年11月7日~8日
場所: 東京国際交流館

Nobuyoshi Yabuki (c) 2013

40

結 論

- 図面 は、設計のメディアが、歴史的に言って、
実物 → 絵と模型 → 図面
の次の④次元プロダクトモデルに移行しつつあることを示している。
- これは、設計や施工の情報の主な消費者が人間からコンピュータ
(機械)に取って代わりつつあることを示す。
- 我々は、歴史的な「大変革期」の真只中にいる。(面白い！)
- 大変革を生み出すのは、文字、紙、印刷、画法幾何、青図といった
革新的な技術である。
- 今般の変革は、コンピュータ(情報技術)によって生まれた。
- とりわけ、1963年のIvan SutherlandによるCADの発明は大きい。
(今年は、50周年記念) Don't forget Descartes!!
- 技術革新とともに、制度改革も必要。車の両輪。
- 日本は、ともすると、制度改革の車輪の回転が著しく遅い傾向。
(抵抗勢力、既得権)
- 国内異分野間および海外とのコラボレーションが益々重要に。

International Conference on Civil and Building Engineering Informatics

November 7-8, 2013

Tokyo, Japan

ICCBEI 2013



www.iccbei.com

Thank you for your attention.

yabuki@see.eng.osaka-u.ac.jp