

(一財)日本建設情報総合センター 主催

3次元データ等の利活用に関する勉強会「CIM入門」

日時:2016年2月25日(木)13:15~14:30

場所:TKP赤坂駅カンファレンスセンター ホール13C

「CIM入門 —建設生産システムの変革—」

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

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

1

はじめに

- 「CIMはうまく行くのですかね？」
- 「紆余曲折はあるだろうが、うまく行く」の3つの理由
 - 機械, 建築, 土木の順番
 - 元は3次元, 画法幾何により2次元図面, CADにより3次元という歴史的に自然の流れ
 - 日本だけではない, 先進諸国は同じ方向
- 懐疑心を多少は抑えるのに貢献したか…
 - 応用技術の技報にこれを書いた
 - CIMの講演会(当時JACICIにいた元永次長が紹介)
 - 家入龍太氏の著書「CIMが2時間でわかる本」でも紹介

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

2

「なぜCIMをやらなければいけない？ 今のやり方で十分だろう」

- まず「土木構造物を造る目的は何だったのか？」と問いたい。
 - 移動, 運搬
 - 防災, 災害復旧
 - 生活を豊かにする資源, エネルギー, 情報の提供
- では, どうやって? 誰のお金で作るのか?
 - 公的な税金. 公益事業の料金.
- だから, その時代や地域の水準や基準に則って, 良い物を安く, 速く, 安全に, 造らなくてはならない.

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

3

公的 20世紀は部分最適化の時代

- だから, その時代や地域の水準や基準に則って, 良い物を安く, 速く, 安全に, 周辺の住民や環境への影響を最小限にして, 造らなくてはならない.
- 高度経済成長時代, 我が国は, 2次元図面と三者関係によって, こうした要件を全うできた「部分最適化」の時代だった.
- 1990年のバブル崩壊後, 品質, 価格, 工期, 安全性, 住民・環境などあらゆる面で問題が顕在化し, 製造業と比較して労働生産性は半分になってしまった.
- その間, 欧米先進諸国の建設産業では, 同様な問題を抱えつつ, 最先端の情報通信技術や新しい契約方式を含む建設マネジメントに関する研究開発を行い, 実務に適用し始めていたのである.

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

4

1990年：冷戦終結→Globalization

- 米国はインターネット，GPS等の軍事技術の民生利用を開始.
- ベンチャー会社の大成功
- 人・物・金が世界中を駆け巡る
- 製造業は，マーケティング，営業，設計，製造，保守が一体となった統合化生産をしなければ，市場に見放される時代に突入.
- 欧米では，建設分野も契約方式を見直し，協調・統合化へ移行
- 「全体最適化」の時代へ

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

5

日本の建設分野はどうだったか？

- 国内では海外企業との競争にさらされることはないため，この米国による先端技術の解放とグローバル化，そして全体最適化に乗り遅れた.
- 1990年代は，景気対策で公共事業投資額は最大(自ら変革する機会を逸した)
- 2000年代に入り，小泉旋風，民主党政権・・・(建設冬の時代)
- これで，税金や料金を払っている国民に対して，良い物を安く，速く，安全に，周辺の影響を最小に造っていると言えるだろうか.
- 我々土木技術者は，常に最新，最良で効率的な技術とマネジメント手法を追求し，説明責任を果たさなければならない.
- その答がCIMなのだと筆者は考える.

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

6

CIMの方向の正当化の必要性

- 「確かに、良い物を安く、速く、安全に、環境に配慮しながら造らなくてはならない、ことはわかっている。しかし、CIMが本当にその方向性として正しいのか？」
- この疑問に答えるためには、未来を語る必要がある
- 未来は神のみぞ知る
- 未来をただ語っても、説得力がなく、SFだと一笑
- CIMの方向の正当化には別のメカニズムが必要

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

7

アルビン・トフラー「第三の波」

- Alvin Toffler, The Third Wave, Bantam Books, 1980
- 翻訳本, 日本放送出版協会 (1980)
- 翻訳文庫本, 中公文庫 (1982)
- 1982年, 私は電源開発入社, 東京晴海でCAD/CAMショーで感銘, 文庫本の「第三の波」を読んで確信を得た.



Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

8

3つの波

- 第一の波: 農業革命
- 第二の波: 産業革命
- 第三の波: 情報革命
- 1980年当時は, 賛否両論
- 1980年当時は, 日本ではコンピュータを自力で作ることすらできなかった
- そこに描かれている未来は, 当時の日本人にとっては, 恐らく絵空事に映ったのだろう
- 私は, 彼の考え方・書き方の手法に惚れた
- すなわち, 未来を語るためには, 歴史を語るのだ
- 歴史から重大なエッセンスを抽出し, 未来へ投射

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

9

歴史のエッセンス

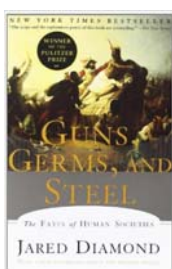
- 「技術革新(発明)」→
- 「生産性」の革命的な向上→
- 世界(社会)の大変革(価値観, 衣食住, 家族, 仕事, 等々)
- 農業革命と産業革命がどのような技術によって起こり, どう社会を変革していったのか, これを説くことによって, 情報革命が, これからどのように社会を変えていくのか, 技術を芽を紹介しながら, 未来へプロジェクションをしていく.

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

10

類似手法で成功した学者

- ジャレット・ダイヤモンド (Jared Diamond)
- 「銃・病原菌・鉄」(Guns, Germs, and Steel: A short history of everybody for the last 13,000 years, 1999)
- 「文明崩壊」(Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed, 2005) (両方とも, 草思社文庫)



Nobuyoshi Yabuki (c) 2016



11

スペイン人とインカ帝国の激突

- 16世紀の初め, インカ帝国: 高度な文化と平和な社会, 大きな人口
- 1532年11月16日, カマハルカ(ペルーの高地)の惨劇
- スペイン人ピサロらは極少数で, インカ帝国の皇帝アタワルパを拘束. 兵士等を残虐に殺し, アツという間に帝国を制圧. そして, 帝国は消滅.
- なぜそんなことができたのか?
- 答えが, 銃, 病原菌, 鉄なのである.
- インカ帝国と日本は類似点もあるのでは?

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

12

グリーンランドとオーストラリアの失敗(文明崩壊の歴史的事例)

- ノルウェー人は、グリーンランドに入植した際、イヌイットらの方法を全く馬鹿にして、学ばず、ノルウェーの方法に拘り、それを押し通したために大勢が死に絶え、終焉を迎えた。
- オーストラリアに入植した英国人も、英国の農業のやり方に拘り、街並みも食べ物、生活習慣など全て、英国流を押し通した。その結果、環境を大規模に破壊し、現在、とても困っている。
- 外国に行ってビジネスをしようとして失敗したことのある日本人、従来の方法に拘ってうまく行かなくなった日本人と類似点があるのでは？

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

13

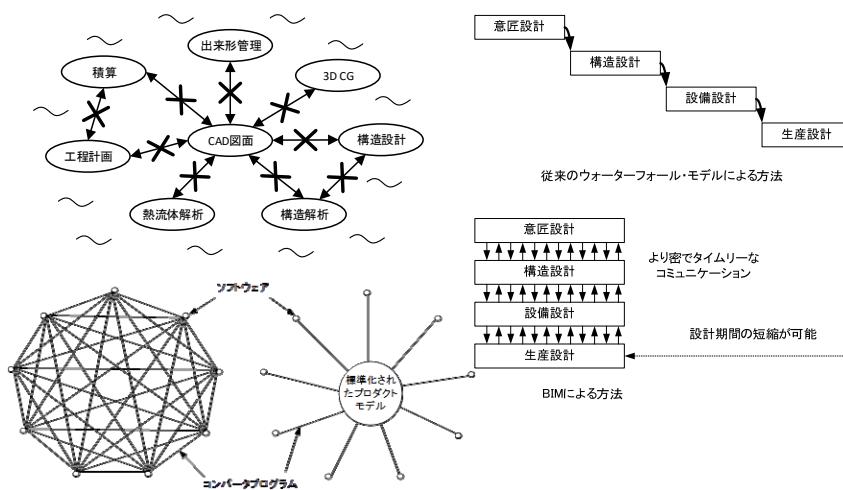
BIMという言葉

- 2004年頃からBIMという言葉が盛んに建築の方で聞かれるようになった。
- BIMはBuilding Information Modelingの略であり、米国ジョージア工科大学のチャック・イーストマン (Chuck Eastman) 教授が最初に使ったと言われている。
- BIMとは、ある程度標準化された3次元プロダクトモデルを様々なソフトウェア群がデータを一元的に共有・活用しながら統合的に設計・施工・維持管理を進めていくという新しい仕事の方法
- 実は、米国では、1980年代から、BIMと同じ概念を「統合化(Integration)」という言葉を用いて既に研究されていた。
- 当時は、「自動化の島」問題と「分散」がクローズアップ。

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

14

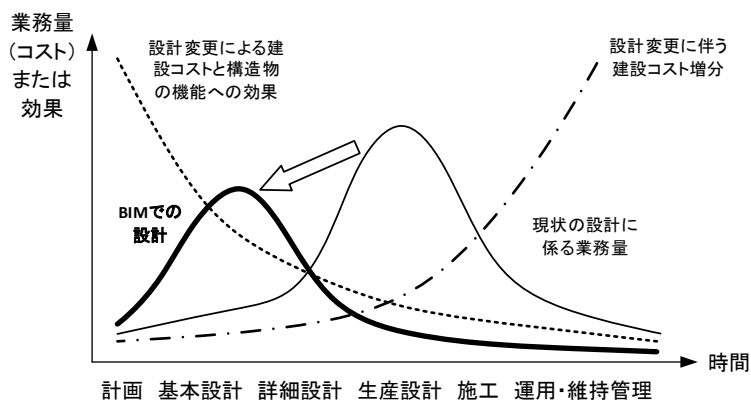
「自動化の島」と「分散」の解決法



Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

15

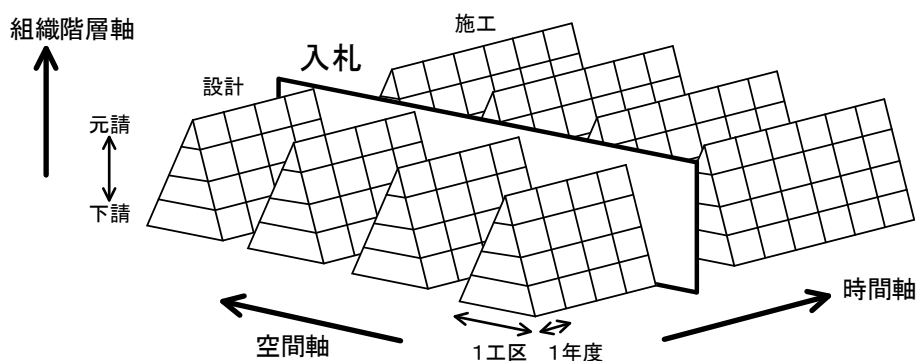
BIMのねらい(フロントローディング)



Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

16

土木はさらに時間軸と工区も加わる



Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

17

CIM

- 2012年、佐藤直良氏(元国土交通省事務次官, 現 JACIC顧問)がCIMを唱え, 国交省で試行業務を開始.
- CIMをこの時期に開始できたのは, 佐藤氏のお陰
- トップダウンで始めなければ, 恐らく, 今でも開始は難しかっただろう.
- CIMは, Construction Information Modelingの略.
- 佐藤さんは, 2013年11月の国際会議ICCBEI 2013で, CIIMとIを一つ加えて, Civil Infrastructure Information Managementに変えて, 提案されている.

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

18

その後,

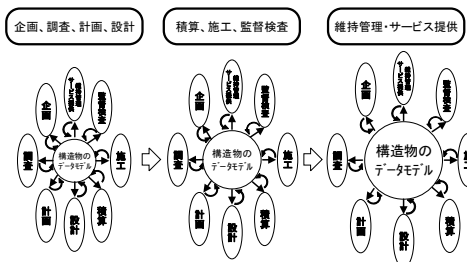
- 2011年に発行された「Machine Control」という米国の雑誌では、Marco Celelaという技術者・経営者がCivil Integrated Managementの略としてCIMを提案していることがわかった。
- その記事には、連邦道路管理局 (FHWA: Federal Highway Administration) が中心となって、米国全州道路交通運輸行政協会 (AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials), ARTBA (American Roads and Transportation Builders Association), AGC (Associated General Contractors of America) の協力のもとCIMを推進しよう、ということが記載されていた。
- 米国では、今でも、CIMはCivil Integrated Managementの略だと言っている人達がいる。
- 香港では、CIMをCivil Information Modelingの略だという人達もいる。

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

19

CIMの私の定義と将来的なイメージ

- 3次元の形状情報と属性情報を持つ標準化されたプロダクトモデルを、社会インフラの計画、設計、施工、維持管理、更新(撤去)のライフサイクルを通じて、発注者、設計者、施工者、下請け業者、市民、各種団体が、必要に応じて情報アクセスの制限は加えるものの、基本的には皆でインターネット上で共有する。
- プレーヤが、時には共同作業を伴いながら、自分達のソフトウェアで同時進行的に行った作業成果をプロダクトモデルに加えていき、プロジェクトに関する会議室での、あるいはインターネットによる遠隔会議でのプレゼンテーションと意見情報交換を通じて、新しいアイデアを出し合う。
- これにより計画・設計・施工でのミスや無駄を減らし、プロジェクトのLCCの縮減、設計・施工の工期短縮、環境に配慮した、より良い社会インフラを建設し、供用する新しい仕事の方法である。

変更
活用

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

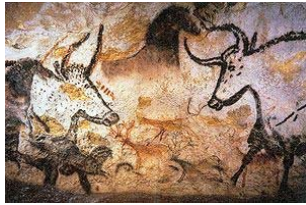
20

人間は家が必要

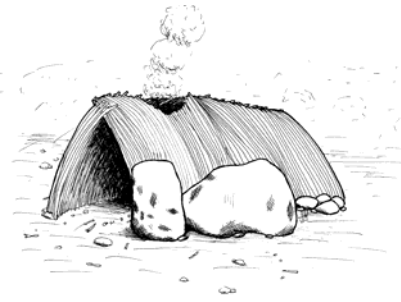
- 旧石器時代は、洞窟や簡易な木造テントのような住居。



Cave houses in
Matera, Italy



Cave paintings in
Lascaux, France



An artist's rendering of a temporary
wood house (Terra Amata, France)

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

21

日本では、弥生時代には



竪穴式住居, 高床式倉庫(登呂遺跡)

- 日本には、当時、文字が無かった。
- それでもできた。
- もっと複雑で、大きく、安全で長持ちする建物を造るためには、コミュニケーションメディアが必要。

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

22

文字の発明と紙

- 楔形文字の原型がシュメールで紀元前4千年紀に作られた
- その後、エジプトのヒエログリフ、中国の文字。
- 古代メソポタミアでは、文字は粘土板に、古代エジプトではパピルスに、ヨーロッパでは羊皮紙、中国では木片に書かれた。



- 紙は、西暦105年に中国の蔡倫によって発明。
- 文字と紙は、情報伝達に多大な影響(貢献)



Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

23

昔の建物の設計・施工は3D

- 基本的に、設計は3次元的な絵(図面ではない)と模型で実施。
- 構造物そのものとその作り方の知識を持った人しか作れなかった。
- 飛鳥寺の金堂の建設のために、百済から模型と大工職人100人くらいが送られてきた。
- 現存する日本最古の図面: 奈良東大寺のレイアウト図。麻の布に書かれた。
- 西洋も同じ。絵と模型。



Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

24

印刷技術

- 中国では、7世紀に木版印刷、11世紀に陶器の活字を使っていたと言われている。
- 1445年頃、ドイツのゲーテンベルクが活版印刷を発明。
- 印刷技術は、情報伝達の歴史上、極めて有意義。
- しかし、図面のような大型用紙の印刷はまだできなかった。

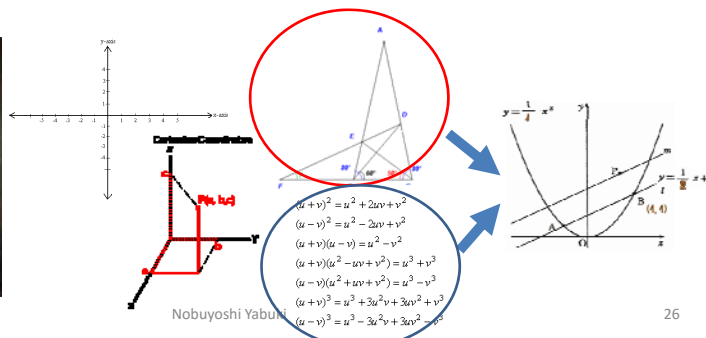
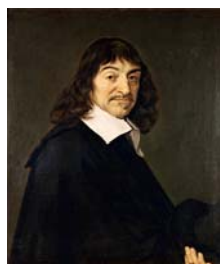


Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

25

デカルト (Descartes) 「方法序説」

- *Rene' Descartes* (1596-1650) は、それまで全く接点がなかったユークリッド幾何学と代数学を統合化した。直交座標系は、彼の業績にちなんでデカルト座標系と言う。
- この発明がなかったら、微積分もCADもロケットも生まれなかった。
- 座標系は **Cartesian** coordinate system と英語では言う。

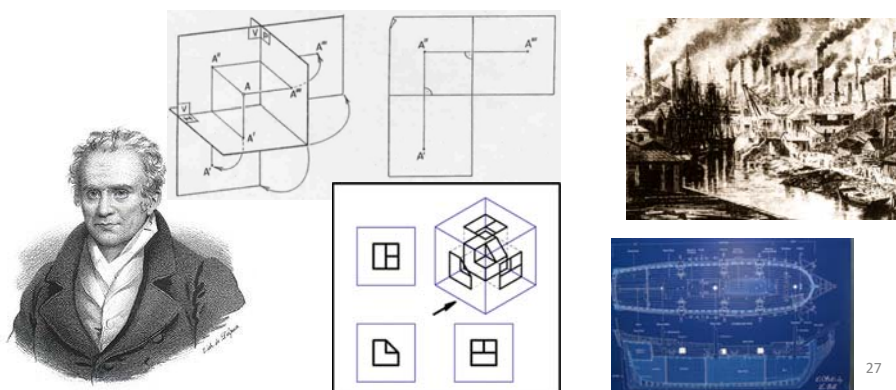


Nobuyoshi Yabuki

26

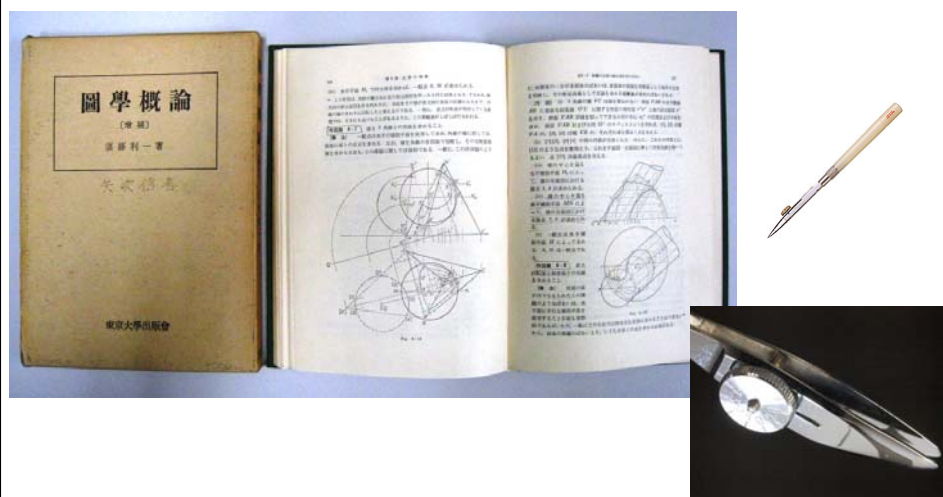
製図を科学に

- フランスの数学者・物理学者であるGaspard Monge (1746-1818) は、画法幾何という図学を創始した。
- これにより、製図方法は公の学問によくなった。
- 18世紀末期から19世紀にかけて、イギリスから産業革命が起こり、機械の製図が発展。蒸気機関車や蒸気船など。
- しかし、まだ大きな図面のコピーはできなかった。
- だから、設計と製造を完全に分離することは困難だった。(青図でようやく)



27

昔、勉強した図学の教科書と烏口



35年前、大学の製図(演習)では、烏口を使い、墨でケント紙に図面を書かされた。

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

28

Computers

- ライプニッツは2進数を発明.
- George Booleは, 150年前に2進数で論理的演算が全て出来ることを発見.
- 1946年, 世界初のコンピュータENIAC (Electric Numerical Integrator and Computer)が米国Pennsylvania Universityで作られた.
- John von Neumann: von Neumann Architecture
- Alan Turing of UK: Turing Machine
- Claude Shannon: Information Theory

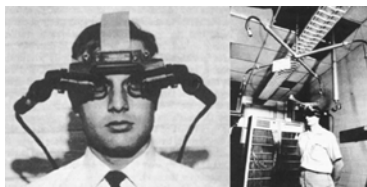
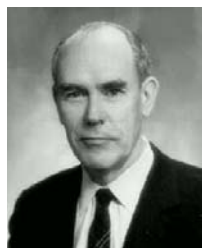


Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

29

The Father of Computer Graphics: Ivan Sutherland

- アイヴァン・サザーランドは, 1963年, MITの博士論文として, 世界初のCADである「Sketchpad」を発明した. 最初から, 3次元CADだった.
- マルチビュー・ウィンドウで, スタイラス・ペンで動作.
- 彼は, その後すぐに, Head Mounted Display (HMD)を開発した. AR(拡張現実感)技術の原点.
- 最近では, 3Dプリンタが大流行. 益々, 3次元へ.



Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

30

2次元CAD, 3次元CAD

- SutherlandがCADを発明すると、米国の航空機や自動車などの機械設計分野で、早速、CAD化が始まった。
- 最初は、2次元CADで図面作成
- 次に、3次元CADで3次元モデルを作成し、有限要素解析 (FEA) や機構解析などのCAEに利用するようになった。
- さらに、3次元モデルを数値制御 (NC) などに利用して、設計から製造へとデータの受け渡しを行い、コンピュータ制御で製造するようになった (CAM)。
- 設計、解析、製造をコンピュータで一貫して管理していく、CIM (Computer Integrated Manufacturing) が30年程前には始まった。

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

31

技術の歴史から見えてくること

昔: **3D** (頭の中) → 19・20世紀: **2D** (紙) → 21世紀: **3D** (コンピュータ)

時代	大昔	19世紀・20世紀	21世紀
次元	3次元 (但し、頭の中)	2次元	3次元 (コンピュータ)
メディア	絵、模型	図面 (製図)	3D CAD, 3Dプリンタ
コミュニケーションの主体	人対人	人対人、 人対機械	機械対機械 (M2M)
設計・施工の分担	一体または 非常に近い	別々、 部分最適化	協調、 全体最適化

- 設計や施工 (製造) における意志の伝達方法は、時代と共に大きく変化してきた。
- その背後には、数学、物理、情報等の基礎科学における発見、発明、技術開発があった。
- 多くの土木・建築技術者は、現在の2次元図面が、普遍的なものと思っているのだが、高々百年の歴史しかない。
- 3次元CADが取って代わろうとしているのは、機械工学の分野を見れば明らか。

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

32

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) 2016

33

30年以上前

- 1982年、電源開発(株) 土木部設計室。水力発電所プロジェクトの設計。
- ダム、開水路トンネル、圧カトンネル、開水路、水門、水圧鉄管、鉄筋コンクリート、道路、橋梁、等々。幅広い構造物を設計
- 図面:ドラフター、トレーサ、墨入れ。
 - 構造の一部を修正すると複数の図面に波及。2次元図面ではミスは避けられない。
- 設計計算:カードパンチ、カードリーダ、ラインプリンタ、電卓などを使って、構造解析、構造計算、水理・水文計算、地盤・岩盤の解析・計算、電力量計算、最適化など。
 - 入力データの大半は地形や構造物の座標値などの幾何学的な情報で、単調で間違いやすい。地形図や図面からデータを自動抽出したい。
- 数量計算:平均断面法、プランメータ。細かいRC構造物の体積計算。
 - 単調で面倒くさく、間違いやすい。設計変更すると、大変な作業になる。

入社1年目に思ったこと

- 設計とは言っても、知的な作業は少しだけで、大半は単純作業！
- 単純作業は、自動化・効率化して、比較設計や新技術導入などといった知的作業に時間をもっとつやすべき。

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

34

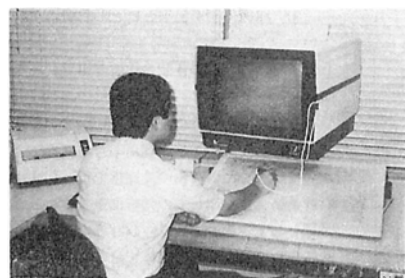
東京・晴海のCAD/CAMショー

- 1982年、東京・晴海で開催されたCAD/CAMショーを見学。
- 航空機や自動車などの分野で、3次元CADを使って設計や製造をしていることを知り、ショックを受けた。
- 土木でも導入すべき、と思った。

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

35

1984年7月、電源開発(株)で3次元CAD導入



三次元CADシステム建設部へ導入



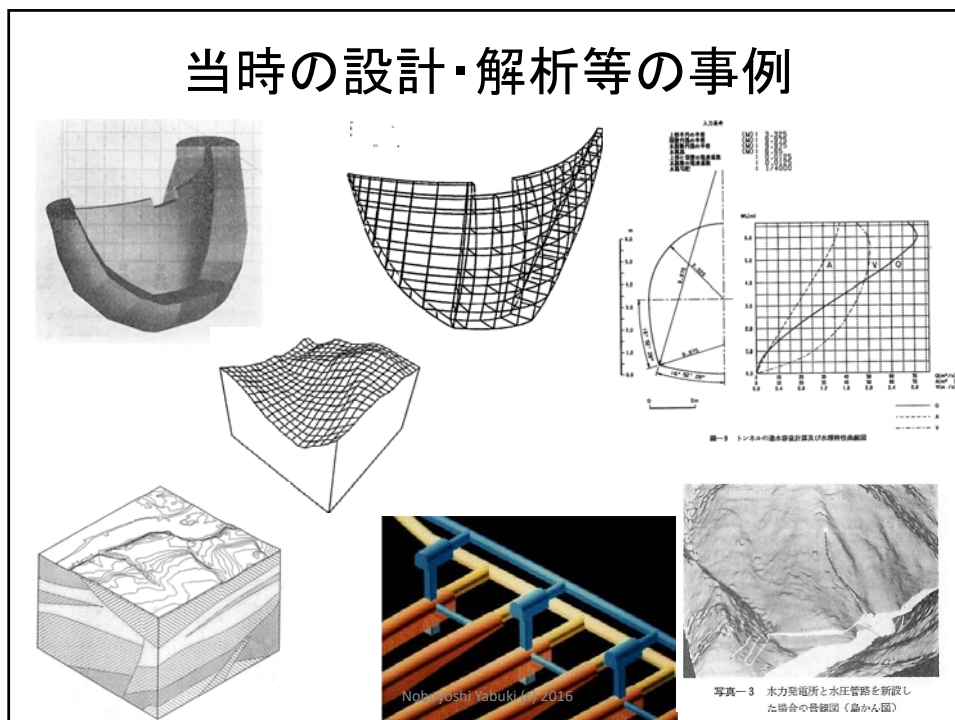
昭和59年7月10日、建設部設計室においてCADオープンニング・セミナーが開催され、川崎建設のスイッチオンにより、CAD（コンピュータ）に実装された設計システムが稼働を始めた。

当社では、電力土木業界の先鞭たるべく、このたび、三次元CADシステムを導入したものである。三次元CADシステムとは、ミニコンピュータを中心とした対話型三次元地形・図形処理機能を持つ設計システムであり、これにより、土木設計業務の高度的な効率化を目的するとともにシステムのより高度な利用を図ることにより、常務ソフトウェアの開発を実施していく計画である。（詳細は本文22～26ページ参照）

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

36

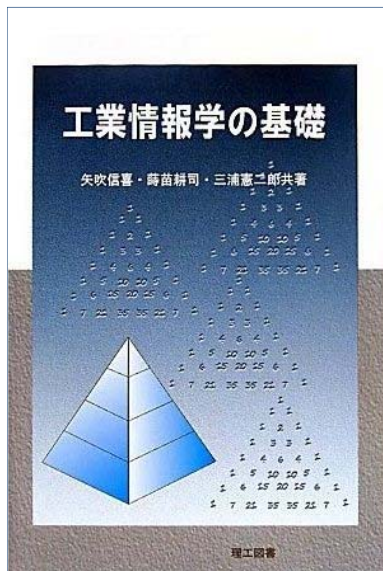
当時の設計・解析等の事例



1988年 米国スタンフォード大学大学院 土木工学専攻へフル
ブライツ奨学生として留学

- Stanford大学が、土木工学専攻の中で、CAD, AI, データベース, ロボティクス等のITを積極的に研究対象とし始め、CIFE (Center for Integrated Facility Engineering) を立ち上げた時に、留学した。
 - 既に、ロボティクスを加え、CAMを建設へと考えていた。
 - ライフサイクルを通じたデータの共有による「統合化」を目標に。
- オブジェクト指向のプロダクトモデルやナレッジシステム、分散コンカレント工学など最先端の研究がされていて、自分もやりたいと思った。
- しかし、情報工学に関する知識レベルの彼我の差を思い知らされ、完全にゼロから「コンピュータ・サイエンス」の勉強をし始めた。
- その時に、工学系学生や社会人技術者が情報学の基礎を学ぼうと思った時にあると便利だろうと思った本を自分と友人で執筆し、2011年に出版した。

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)

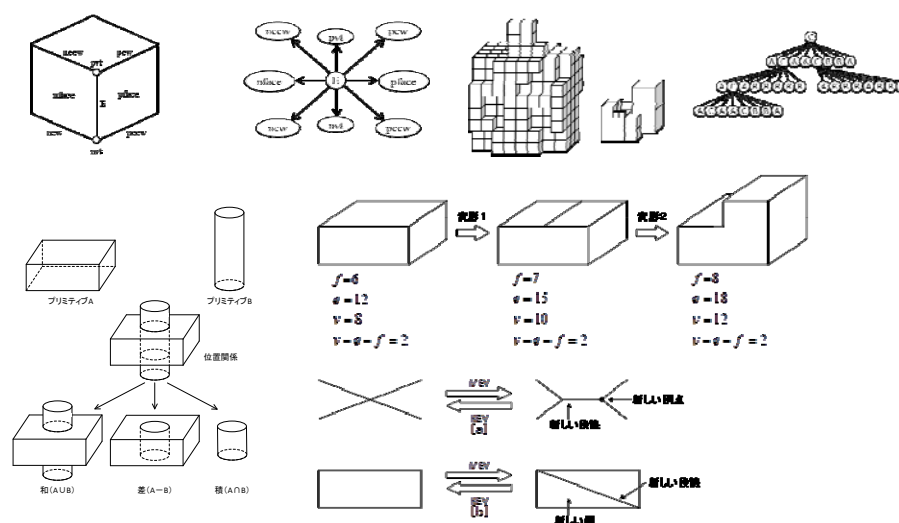
目次

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

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

39

3次元ソリッドモデルの数学

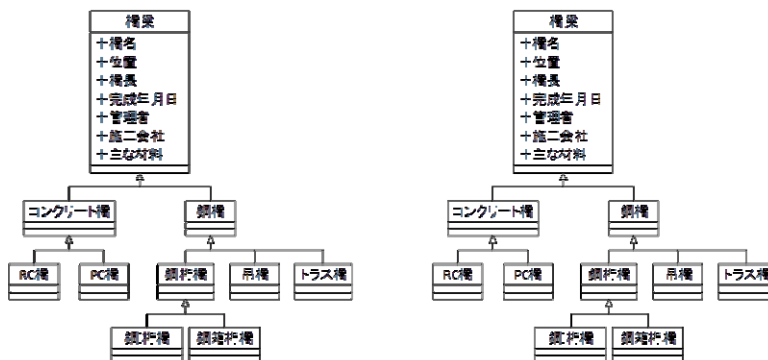


Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

40

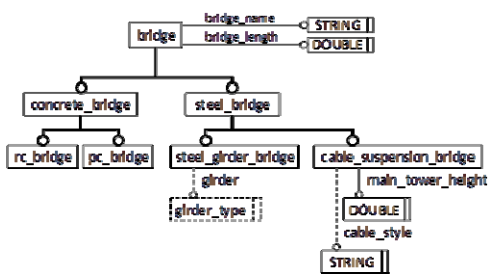
プロダクトモデル

- オブジェクト指向技術
- 抽象化 (abstraction) の理解が不可欠
- クラス, インスタンス, 属性, クラス間の関係



Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

41



```

SCHEMA bridge_product_model;
TYPE girder_type = ENUMERATION OF
( ! girder,
  box_girder);
END_TYPE;

ENTITY bridge
SUPERTYPE OF (ONEOF (concrete_bridge, steel_bridge));
  bridge_name: STRING;
  bridge_length: DOUBLE;
END_ENTITY;

ENTITY concrete_bridge
SUBTYPE OF (bridge);
  SUPERTYPE OF (ONEOF (rc_bridge, pc_bridge));
END_ENTITY;

ENTITY rc_bridge
SUBTYPE OF (concrete_bridge);
END_ENTITY;

ENTITY pc_bridge
SUBTYPE OF (concrete_bridge);
END_ENTITY;

ENTITY steel_bridge
SUBTYPE OF (bridge);
  SUPERTYPE OF (ONEOF (steel_girder_bridge, cable_suspension_bridge));
END_ENTITY;

ENTITY steel_girder_bridge
SUBTYPE OF (steel_bridge);
  girder: girder_type;
END_ENTITY;

ENTITY cable_suspension_bridge
SUBTYPE OF (steel_bridge);
  main_tower_height: DOUBLE;
  cable_style: OPTIONAL STRING;
END_ENTITY;

END_SCHEMA;

```

図-6. 8 EXPRESS言語で記述した簡単な橋梁のスキーマ定義の例

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

42

測量とGIS





クモノスコーポレーション(株)提供



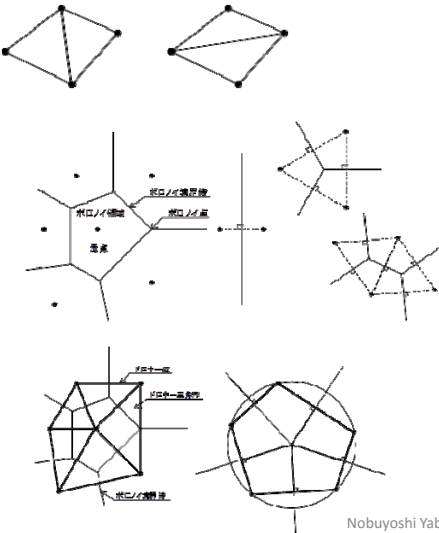
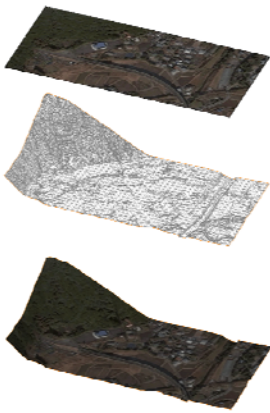

右図は、(株)パスコ提供。著書では、ヘリコプタで撮影と書いたが、実際は飛行機であった。訂正する。
下はいであ(株)提供



Nobuyoshi Yabuki (c) 2016


43

地形と地層の3次元モデリング

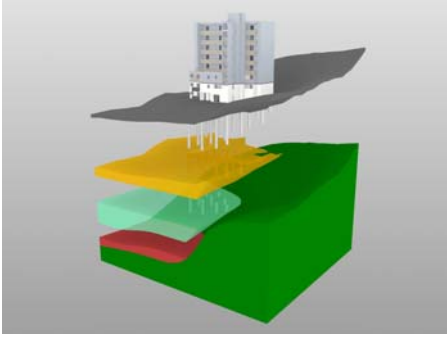
Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

44



Layer	Upper Boundary	Surface
Layer 1	S1	-----
Layer 2	S2	-----
Layer 3	S3	-----
Layer 4	S4	-----
Layer 5	S5	-----
Core 1	C1	-----

応用地質(株)提供



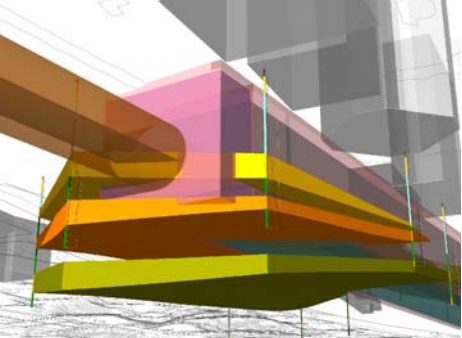


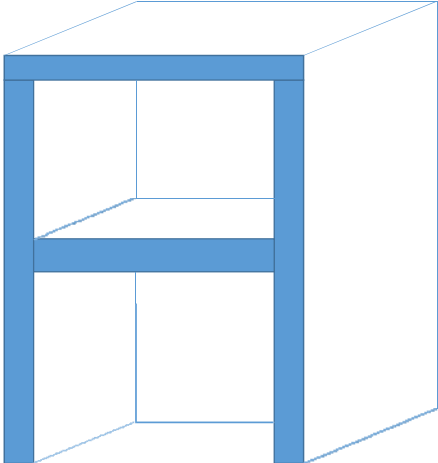
図-8.7 **ダム周辺の3次元地盤モデル**
マンション、基礎および地層の3次元モデル

図-8.8 **深度=300mまでの地盤モデル**
トンネル、ボーリングおよび

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016 45

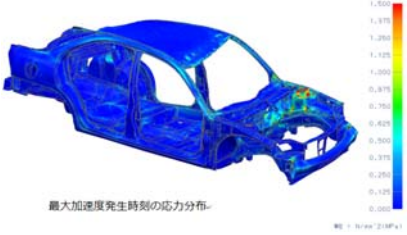
下図のような建物の構造計算用の2次元モデルは、簡単につくれるでしょうか？

元々、構造計算の手法は、人間が手で計算できるように、頭を使って、複雑な構造を、非常に簡略化するという、人間による、人間のための、高度な頭脳作業が必要



自動車のボディの構造解析ならば、3次元モデルから直接、有限要素解析モデルに移動できる

ビルもそうしたら？ と思うかも知れない。しかし、残念ながら、制度がそこまでいっていない。



最大加速度発生時刻の応力分布
単位: N/mm²(MPa)

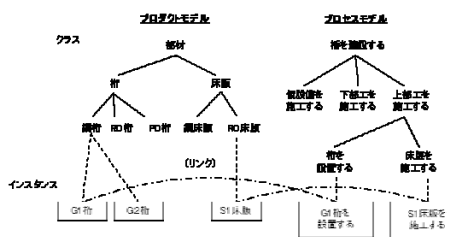
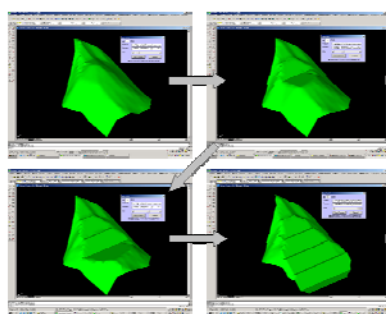
Nobuyoshi Yabuki (c) 2016 46

- 構造物のモデル化の際のLOD (Level of Detailまたは Level of Development) が、重要な課題
- 矢吹研では、橋梁(PC桁橋)のLODを提案し、維持管理に最適なLODの決定法に関する研究を実施
- 応用技術(株)と矢吹で、河川構造物(特に、樋門・樋管)のLODに関する研究を、JACICの助成研究により実施
- 建築では、AIA(左下図)やBIM ForumからLODのガイドラインが発表されているが、土木ではまだ研究段階(右下図)
- 英国のRIBAはLODとLOIに分離して組合わせた手法を開発。優れた方法だと思う。

LOD (詳細度)	形状の概要	断面種類 (縮尺)	LOD	特徴
LOD 100	・鉄骨構造は、基礎モデルを含んでいる、もしくは区別のない概略形状		LOD 100	・簡単な形状
LOD 200	・概算の床面積 ・構造部材の概略構成 ・確定した構造柱の配置		LOD 200	・概略レベルのモデル
LOD 300	・主要な鉄骨柱の正確な寸法と配置		LOD 300	・桁筋は正確にモデル化されているが、接合部は粗大表示のみでモデル化(主要部材は細大表示)される
LOD 350	・接合部の正確な高さや位置 ・主要な部材の接続に用いるベースプレートやアンカボルト ・スリブやスリブ貫通部等の補強部材		LOD 350	・桁筋ととくに接合部材までモデル化されている ・細大表示でモデル化 ・主要部材における補強部材あり・ボルトなし
LOD 400	・溶接箇所 ・象木 ・キャップ、ハット ・ワッシャー、ナット		LOD 400	・桁筋ととくに接合部材までモデル化されている ・完全な手組モデル ・主要部材における補強部材あり・ボルトあり

2016 47

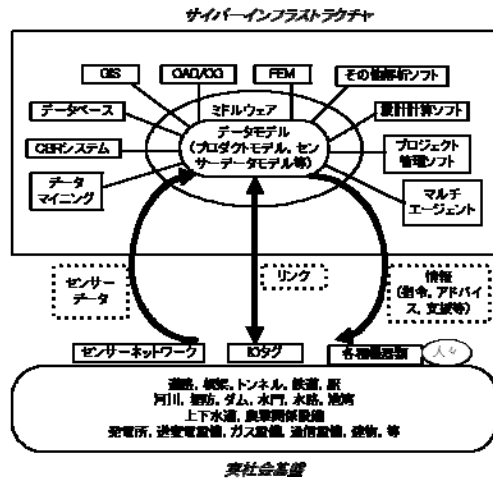
単なる可視化を超えて



情報化施工に必要な3次元データを設計段階から作り、利用する。

現在、国交省では、i-Constructionで土工を対象に、データの作成と利用の効率化、制度の改定などを実施している。

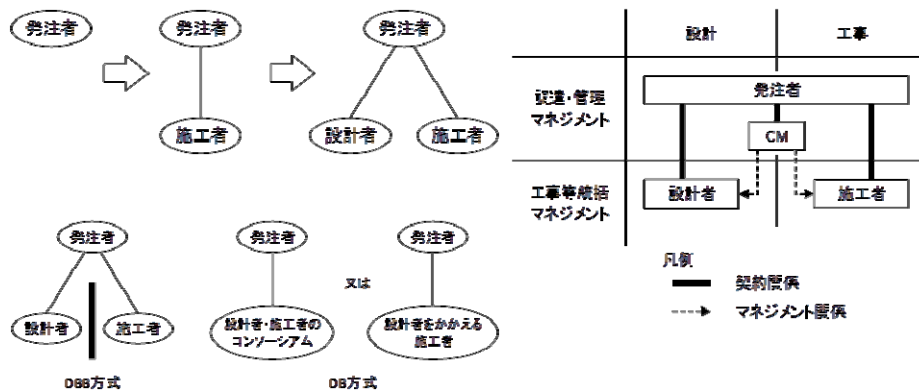
国土基盤モデル



Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

49

土木プロジェクトマネジメント



Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

50

多様な契約方式

		調査・計画	概略設計	予備設計	詳細設計	施工	維持管理
工事の調達を詳細設計が完了した段階で行う(工事の施工のみを発注する方式)	調査・計画/設計者	■	■	■	■		■
	施工者		■				
工事の調達を予備設計段階で行う(設計・施工一括発注方式)	調査・計画/設計者	■	■	▽			
	施工者			▾			
工事の調達を詳細設計段階で行う(詳細設計付工事発注方式)	調査・計画/設計者	■	■	▾			
	施工者				▾		
工事調達に加え施工者による設計段階での技術協力を調達する(ECI方式)	調査・計画/設計者	■	■	■	■		
	施工者		■	■	■	■	
工事調達に加え施工者による維持管理業務を調達する(維持管理付工事発注方式)	調査・計画/設計者	■	■	■	■		
	施工者					■	■

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016 51

IPD (Integrated Project Delivery)

- 米国で考案された、DB方式よりもさらに進んだ、BIMの技術を使った究極のプロジェクト遂行方式
- 建築構造物のIPDでは、発注者(オーナー)、設計者(建築家、構造技術者、設備技術者)、請負業者(元請け業者と下請け業者も)が一つの団結し密着したチームを作り、プロジェクトの最初の段階から完成まで一緒になって、BIMの技術を最大限に使って、データを共有しながら、協調的に遂行
- ASPのサーバを使って、データを共有
- 遠隔でもインターネットで会議
- コラボレーションが重要
- 部分最適化ではなく全体最適化を目指す
- 米国加州カストロバレーのサッター医療センタープロジェクトで実施(2007-2012)

建築家や構造技術者、設備技術者がプロジェクト・チームに主要メンバーとして入っており、彼らが設計を改善することによって、予定していた建設コストやエネルギーコストより安く出来たり、計画工期より早く完成したりすれば、それによって得られる利益の一部を得ることが出来る



- 筆者が、以前勤務していた電源開発株式会社では、新しい水力発電所のプロジェクトが企画されると、営業担当の開発計画課、計画担当の水力計画課、設計担当の設計室、積算と施工管理担当の工事課、および運転維持管理担当の設備運営課（全て1980年代当時の名称）の各室・課から主任クラスと入社1、2年クラスの二人ずつが、一月に1、2回くらいの頻度で会議室に集まり、図面や資料を持ち寄って、プロジェクトについて、丁々発止、真剣に議論していた。
- 筆者は設計室にいたが、他の部署の社員がその部署の立場で、ダムや水路トンネルのルート、発電量やコスト等について、意見を言うのを聞いて、部署によって考え方が180度違うことや、思わぬような視点から鋭い指摘があることなどを学び、非常に勉強になった。
- また、この会議は、プロジェクトが企画段階から計画、設計、積算へと進んでいってもずっと同じメンバー（転勤や担当替えがなければ）で続けられ、それぞれの立場でその都度、意見を出すことができ、実際に担当する仕事はプロジェクトの極一部ではありながら、ライフサイクルに関与することが出来、時には設計の立場から「こうしたらどうだろうか」といった意見を出して、「それは面白い」と言われて、やりがいを感じたりしたことがあった。
- 筆者は、この会議や仕事のやり方は、施工業者は入っていないものの、工事課が代弁していると考えれば、BIMやCIMを使わない、計画・設計・積算におけるIPDではないかと考えている。こうしたIPDのようなことが出来たのは、発注者側に設計者がいて、施工者を代弁することができる工事課があったからだと思う。

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

53

- 現状の3者関係で行うプロジェクトの契約方式とIPDの違いは、前者は、設計者も施工者も発注者の決めた仕様書や契約図書の中で、自らの利益が最大限になるよう努力するが、後者は、参加者全員が発注者にとって利益になるよう行動し、そうすることによって自らも利益が得られるという点である。
- 現在の方法では、発注者がよほどしっかりと監督をしなければ、安くて、良い物が出来にくい仕組みになっているのである。
- 日本で比較的品質が高い設計と施工がなされているのは、国民性もあるだろうが、もし手抜きやずるいことをすれば、商売を継続させていくことが難しくなる環境であることを知っているからであろう。
- 土木でもIPDが将来、望まれる所以である。

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

54

CIM技術者の育成

- 日本でも、近い将来、CIM技術者が生まれていくだろう。CIM技術者は、CADなどのオペレーションも行うが、主な業務は、数多くいるプロジェクト参加者達の情報マネジメントをすることになるだろう。
- 米国のプログラム・マネジャはBIM/CIMの使い手であり、プロジェクト全体を発注者の立場に近いところでマネジする。特に、情報のマネジメントを。
- 米国のプログラム・マネジャは、総事業費の10%も取ることができる新しい(魅力的な)仕事。
- 今後、中間管理職は、コンピュータや情報通信機器、各種のソフトウェアなどについての的確な知識とセンスを持ち、部下に何をどうさせるべきなのか、正確な判断をし、きちんと管理できるようになることが、今以上に重要になるから、中間管理職こそ、CIMやICTの研修を
- 役員・上級管理職は、情報マネジメントに関するセンスを磨き、新しいビジネスモデルの考案、新業務形態、海外市場などへの進出へ知恵を絞る

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

55

CIMの将来像

- そもそも、つまらない仕事とは何だろうか。それは、やり方が決まっていて、面倒くさくて、ミスをすれば怒られ、きちんとできても当たり前だと言われ、何も創造性や自分のアイデアを加える機会がないような仕事であろう。土木技術者のように創造性があり、理数系に強く、知能が高い人たちにそんな仕事が面白いわけがない。今の仕事がそんなものばかりだとは言わない。総合技術評価方式のようにアイデアを出さなければ、仕事が取れないようなものは面白かろう。しかし、そうした仕事も、大きなプロジェクトを細分化していった極小さな断片であれば、やりがいも今一つになってしまうのではないだろうか。
- また、設計や施工の際に、何らかの問題を発見して解決すべきだと言ったとしても、制度的に、あるいは力関係などにより、自らを抑え込んで、曲げなければならぬような事態が頻発すれば、これも幸せとは言えないだろう。

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

56

- プロジェクト全体として、良いものを作りたい、利用してもらいたい、それが実現できたら幸せだと感じることができるのではないだろうか。筆者は長期的な視点ではCIMはIPDを目指すことになる予想している。
- IPDは、部分を担当しながらもプロジェクト全体にコミットし、協調的に計画から維持管理までのライフサイクルを実施するし、発注者にとって利益になるように提案することによって、受注者も利益を得るという一挙両得の仕組みなのだ。
- 技術者がプロジェクトへより大きくコミットすることにより、断片を仕事の対象とすることから、より大きく、より長い期間の仕事に従事できるようになり、プロジェクトの醍醐味を味わうことができるようになると考えている。それにより、仕事におけるやりがいと幸福感を感じ、より良いプロジェクトに通ずると考えている。そうすれば、若い人達が土木技術者になりたい、と憧れるようになる可能性があると思っている。
- 最近、若い人達を何とか建設分野に呼び込もう、そして定着させようという努力が始まっている。筆者は、小手先の対応ではなく、根本的に仕事のやり方、つまり、全体システム、制度の改革が必要だと考えている。CIMは、まさにその全体システムや制度を大きく変える可能性を持つものなのである。

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

57

謝辞

- 出版にこぎつけられたのは、大勢の同僚、友人、知人のお陰である。
- 特に、土木学会、日本建築学会、精密工学会などの学会関係者、国土交通省、CIM制度検討会、産学官CIM検討会、一般財団法人日本建設情報総合センター、公益財団法人日本建設情報技術センター、一般社団法人IAI日本、一般社団法人日本建設機械施工協会、一般財団法人関西情報センター、産学官CIM・GIS研究会などの関係者、海外の大学、研究所、企業などの友人達、そして、大阪大学の矢吹研究室の皆さんにお礼を申し上げます。

Nobuyoshi Yabuki (c) 2016

58