

システム思考に基づく BIM・ICT を活用した設計コミュニケーション技術 e-Learning システム「Web Learning Studio」による建築協働設計の試み その1

○澤田 英行*¹ 松原 輝*²
渡部 真也*² 荻野 克真*²

キーワード：建築協働設計 情報共有 システム思考 問題解決型 プロセスモデル

1. はじめに

芝浦工業大学システム理工学部澤田研究室は、Building Information(Imagination) Modeling (以下 BIM)・ICT^{注1)}を活用する建築協働設計プロセスの可能性を研究した。当研究室の前身である衣袋研究室(～2011年度)が、W. J. Mitchell による Virtual Design Studio¹⁾を礎に、データベース、ブレインライティング、アポイント、サムネイル、評価などの機能の開発を行い構築した e-Learning システム「Web Learning Studio (以下 W. L. S)」²⁾が本研究の基盤となっている。これによって社会に近接する建築設計教育が実践³⁾⁴⁾され、多くの実務設計者が育まれてきた。本論は、上記システムに、BIM・ICT 技術を連動させ、情報社会に相応しい実践的な建築協働設計のためのワーク環境について研究するものである。

1.1 研究背景

チームデザインのあり方を表す概念として「協働＝コラボレーション」の語が使われている。考え方・価値観・技術・立場の異なる個性(集団)が、ある共通の目的を掲げ、力を合わせて活動することをいう。建築設計者や関係者が、変化の激しい自然環境と不確定な社会環境を背景に多元化、多様化する複雑な社会システムの中で、目的に合ったより適正な解答を得るためには、協働による、適確な意識決定が求められる。複眼的視点を持って情報を適切に整理・分析・定義する手法として、建設業界は BIM に注目し、各方面で研究開発に取り組んでいる。

1.2 研究目的

本研究は、澤田研究室が 2013 年度に参加した、BIM を用いた時間限定(100 時間)の建築設計競技『Build Live Japan 2013』(IAI 日本主催)の実践を基にしている。主催者は要項で「建物に関わるたくさんの関係者が BIM にどのように取り組めるのか、BIM を活用したイノベティブなプロセスを期待」⁵⁾すると述べている。競技内容は、現実の敷地を対象とし(首都圏近郊の既存集合住宅の建替計画)、100 時間で、BIM ツールおよび IFC 形式によるデータ交換を条件に、企画・基本計画を行うもので、手順・使用ソフトウェア・人員体制などは参加者に任せられた。BIM への取り組みの概要『BIM 計画書』を事前提出し、100 時間すべての工程を WEB 上で公開するというル

ールで行われた。

一般的な建築設計の工程は①企画(データ収集・分析・目標設定)②基本計画(プログラム・図面化)③基本設計(設計情報図面化)④実施設計(施工に向けての設計情報図面化・エンジニアリング)⑤監理(設計施工の整合性)⑥維持管理・運営の段階を経る。建築設計者は①～②の構想段階(企画・基本計画)において、建築の資格的、社会的価値を左右する重要な意思決定を行う。また設計教育上の観点からも重要な要素を占める段階といえる。

本論は、建築設計者がこの構想段階において、社会的価値の高い建築を実現するビジョンを創発し得る、複眼的で統合的な建築協働設計のための、BIM・ICT を活用したワーク環境の開発を目的とする。

2. 研究方法

2.1 システム思考による問題解決型プロセス

芝浦工業大学システム理工学部では、グローバル化社会を背景に情報が複雑化する工学分野において、分野横断的な新たな枠組みを考える想像力の礎として、システム工学の方法論⁶⁾を導入している。総合的な解決策を追求する「システム思考」、目的を達成するための「システム手法」、問題解決のために人・知識・技術を統合する「システムマネジメント」を教育理念⁷⁾の柱とし、学科を横断する演習や PBL(Project Based Learning)などの体験型学習機会を設け、問題解決型のものづくり教育を実践している。建築設計分野でも、関連情報の客観的把握(データ収集・分析・目標設定)、問題発見・解決(設計)、設計評価(検証・妥当性確認)の問題解決型プロセスモデルを教育研究の背景の一つとしている(図1)。

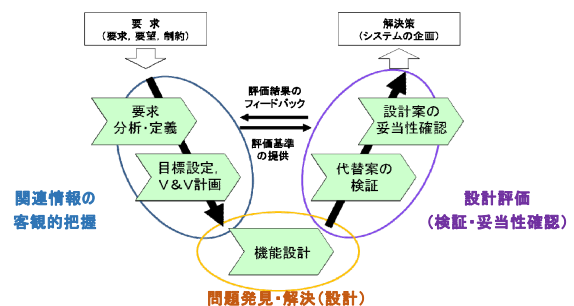


図1 問題解決型プロセスモデル (V字プロセス)

2.2 W.L.Sを基盤にしたコミュニケーション

体験型学習機会を支えているW.L.Sの特性として、以下の点が挙げられる。

- ① 自前の軽い汎用システムとしてプラットフォームを構築し、プラグインで機能を拡張できる。
- ② 研究室内でシステムのすべてを管理できるコンパクトでセキュリティの高いシステム。
- ③ アカウント認証を前提に「いつでも・だれでも・どこからでも」参加可能なユビキタス性を確立。

同システムは、①「外部閲覧機能（制限無し）」②「内部作業機能（個人アカウント制限）」③「内部管理機能（管理者権限付与）」の三つのサイトで構成され（図2）、表1のような効果がもたらされる。場所と時間に制約されない、双方向性のあるワーク環境が構築できる。これらの効果の有効性については、既往研究³⁾⁴⁾において検証されている。

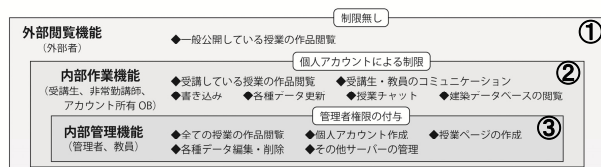


図2 W.L.Sシステムの機能

表1 W.L.Sの特性がもたらす効果

・チャットログ	⇒ 常に振り返る	⇒ 記録性・反復性・客観性
・データベース	⇒ すぐに確認	⇒ 参照性
・進捗の記録	⇒ 歩みを知る	⇒ 一覧性・客観性
・多様な参加者	⇒ いろんな意見	⇒ 多視点性
・コラボワーク	⇒ いつでも話せる	⇒ 同期（非同期）非同室 ^{注2)} 性

2.3 統合的な問題解決の方法「B-eIM」

BIMは、一般的に、建築情報の一元的管理によって、生産工程の一気通貫・コスト/品質管理・工程合理化・3次元プレゼンテーションなどに有効なツールとして理解されている。当研究室では、上記の特性に加え、発見・発想メディアとしての側面に注目している。BIMによって、建築とそれを取り巻く環境を一体的に記述することができる。設計者はそれを媒体に、見えにくい潜在的な固有情報に気づき、問題発見・解決の糸口を見出し得る。

BIM・ICTを活用した、①複眼的視点による事象の把握、②多様な情報の蓄積・共有、③デジタル情報を基にした検証・評価のプロセスによって、建築と環境を包括的に捉え、理解する方法を当研究室では「Built-environment Information Modeling（以下B-eIM）」と名付けている。私たちはこの方法論を、関係者あるいは社会に対する合意形成と説明責任を果たす根拠となるものとして、システム思考と共に研究方法の基盤としている。

3. プロセスを見える化した建築協働設計の方法

この建築協働設計は、システム思考による問題解決型プロセスモデル（関連情報の客観的把握/問題発見・解決/設計評価）を背景に進められた。

3.1 関連情報の客観的把握の方法

構想段階では、まず数々の情報を適確に、迅速に、幅広く把握し、理解する必要がある。ここでは対象の固有情報（敷地周辺状況・要求条件・居住者/近隣住民らの生活に関わる事象など）をより多角的に捉えるために、二つのことを実践した。

（1）複眼的視点をもつコンソーシアム

課題が首都圏近郊の集合住宅建替計画であるため、「事業者」「居住者」「近隣住民」の意見を企画・立案に生かすことが建築の社会的価値向上につながる、という仮説を立てた。研究室学生が「設計チーム（7名）」、非常勤講師（学外、1名）に「事業者（集合住宅企画販売）」、研究室OB（学外、2名）に「居住者（既存在住）」、社会科学系教員および学生（学内教員1名、学生5名）に「近隣住民」の役割を担ってもらい、架空のコンソーシアムを編成した。W.L.Sを基盤にしたデジタル・ミーティング（チャット形式）によって同期（非同期）非同室^{注2)}でコミュニケーションできる環境を整備した（図3）。

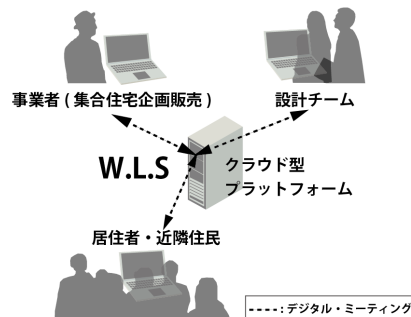


図3 W.L.Sでつながるコンソーシアム

コンソーシアムのメンバーは、W.L.Sを介して図4の関係にあり、指定サイトへ自由に（アカウント発行）入退室できる。学外協力は職場もしくは自宅から、学内教員および学生は自研究室からもしくは自宅から、指定時間にデジタル・ミーティングに参加する。指定時間外も自由に発言をサイトに残すことができる。同期（非同期）非同室に意見が書き込まれるため、メンバーは常に情報共有を図ることができ、チームデザインは常時進行しているといえる。



図4 W.L.Sを介したコンソーシアムの関係

図5は、デジタル・ミーティングの画面イメージである。チャットがテキストとして表示・蓄積・記録・共有される。提案素材（関連画像・スケッチ・3DPDF^{注3}など）を基にミーティングする（ログは時間外にも閲覧可能）。

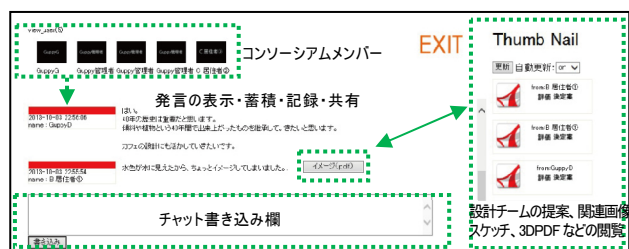


図5 デジタル・ミーティングのインターフェース

（2）意思決定プロセスの見える化

設計工程を、Ph. 1 計画の動機付け、Ph. 2 土地利用ゾーニング、Ph. 3 ボリュームスタディ、Ph. 4 3次元プランニング、Ph. 5 計画の妥当性の5段階とし、問題解決すべき検討項目を各フェーズに設定した。意思決定すべき内容・タイミング・メンバーの役割・動きを相関させたワークフローを事前に作成し（表2 本論用に簡略化）、「設計チーム」は、この指標によって進行状況を確認した。

表2 5つにフェーズ分けされたワークフロー

フェーズ	Ph.1	Ph.2	Ph.3	Ph.4	Ph.5
	計画の動機付け	土地利用・ゾーニング	ボリュームスタディ	3次元プランニング	計画の妥当性
検討項目	地域生活 コミュニティ 交通 事業 自然 施設内容	地域生活 コミュニティ 交通 近隣 事業 自然 施設内容	地域資産 コミュニティ 規模 近隣 セキュリティ 自然 景観 沿道	住民生活 見合い 動線 近隣 福祉 公私境界 通風 採光	視線 外観 素材 環境 風景
コンソーシアム	設計チーム 事業者 居住者 居住者 近隣住民	設計チーム 事業者 居住者 居住者 近隣住民	設計チーム 事業者 居住者 居住者 近隣住民	設計チーム 事業者 居住者 居住者 近隣住民	設計チーム 事業者 居住者 居住者 近隣住民

3.2 問題発見・解決の方法

Google Earth 上での3次元情報の共有

本研究では、コンソーシアムによる問題発見に対する「設計チーム」の解決提案を「設計」として位置付けた。そのためにはメンバー全員が関連情報を対等に認識する必要があるため、敷地内外の関連情報を Google Earth の3次元マップ上にプロット・共有した。また「居住者」「近隣住民」の居住位置を3次元上に指定することで、意見がより立体化、具体化するようにした。現地調査した情報を3DPDFにして動的に共有し、現地に関するメンバーの意見を、情報属性・位置情報などが判別しやすいアイコンとし（図6左）、Google Earth の3次元マップ上に、立体的にプロットできるようにした（図6右）。コンソーシアムに複眼的視点を植え付け、問題発見・解決の糸口を見出しやすくすることを目的とするものである。

設計は、常に新たな情報を書き加えながら、Google Earth 上で周辺環境（敷地高低差、近隣建物、道路、自然環境を明示）と共に景観・日影・風解析シミュレーションを繰り返しながら進化した（図7）。



図6 3次元マップ・データ上のアイコン情報

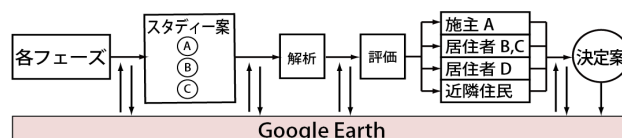


図7 Google Earth の活用状況

3.3 設計評価の方法

（1）デジタル・ミーティングにおける設計の評価

コンソーシアムのコミュニケーションにおいて、「事業者」は、商品価値・安心安全・生活動線の視点で、「居住者」「近隣住民」は、プライバシー・見合い・地域コミュニティ・歩車分離・沿道景観の視点で、意見を出した。その結果「設計チーム」は幾度か設計工程を遡って設計修正を行った。以下にその事例を挙げる。

・検証事例：Ph. 3 ボリュームスタディ

「設計チーム」は、地域に開かれた中庭を中心とする配棟計画を提案した。3次元オブジェクトCAD上で景観シミュレーション（図8,9）、日影、風環境解析を行い、コンソーシアムで説明したところ、「近隣住民」から「入口が立派過ぎて入りづらい」「既存の時よりも中庭が感じられない」「風があまり抜けていない感じがする」（下線部はW.L.Sに記録されたログからの抜粋 以下同様）など意図に反した意見が出された。その結果、条件の重み付けを見直し、再検討した（図9）。

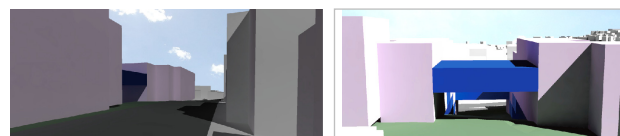


図8 南側中庭への入り口景観検証



図9 南側中庭への入り口最終案

（2）BIM ツールによる設計の評価

プランニングは全て3次元で行い、ボリュームスタディの段階から景観・日影・風解析シミュレーションを行

い、コンソーシアムで情報共有した。以下に事例を示す。

・検証事例1：Ph.4 3次元プランニング（日影）

「設計チーム」は、中庭と住戸環境について日影解析を行い、コンソーシアムで説明したところ、「中庭に光が入らないように感じる」「北側ボリュームが大きく近隣住宅に影を落とすのでは」などの意見があった（図10左）。その結果、北側ボリュームに隙間をとって再配置し、中庭と住戸への採光を確保し、近隣住宅の日照環境改善を図った（図10右）。

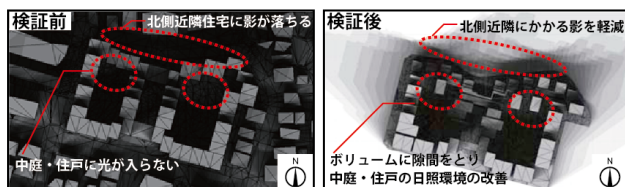


図10 日影解析シュミュレーションの結果

・検証事例2：Ph.4 3次元プランニング（風）

「設計チーム」は、中庭を介して南側から吹く夏の風を住戸内に取り込むことを考えた。風解析検証の結果、南側住棟の形態が不適正だとわかった（図11左）。住戸配置計画を見直し、通風を確保するとともに、住環境に新たな共用空間を創出した（図11右）。この他、冬の風は、北側住棟のボリュームによって遮られていることも、コンソーシアムの中で確認された。

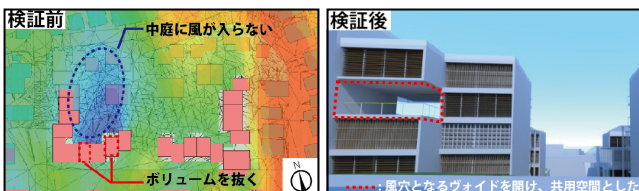


図11 風解析シュミュレーションの結果

4. 考察

4.1 5つのフェーズにおける設計プロセスの考察

表3は、5つのフェーズで行われたコンソーシアムの協議経緯をキーワード毎に集計したものである。数字は

発言の中に含まれたキーワードの回数を示す。

表3 5つのフェーズにおける協議の詳細

フェーズ名	キーワード	キーワード回数					合計
		Ph.1	Ph.2	Ph.3	Ph.4	Ph.5	
Ph.1 計画の 動機付け	1 設計と条件	31	8	0	6	0	45
	2 敷地周辺状況	44	13	2	4	0	63
	3 法的制約	0	4	10	2	0	16
Ph.2 土地利用・ ゾーニング	1 地域コミュニティ	29	19	14	4	0	66
	2 交通	9	1	2	0	0	12
	3 公共利便施設	45	20	11	1	0	77
	4 教育	4	3	2	2	0	11
Ph.3 ボリュームス タディ	1 生活動線	0	7	13	17	0	37
	2 周辺建物	2	2	2	1	2	9
	3 景観	10	9	28	18	10	75
	4 規模	2	17	22	1	2	44
	5 施工	0	1	0	0	0	1
Ph.4 3次元 プランニング	1 ライフスタイル	27	25	33	15	27	127
	2 公私境界	5	10	5	8	5	33
	3 セキュリティ	7	5	4	12	7	35
	4 歩車動線	3	8	0	17	3	31
	5 周辺との見合い	0	7	1	18	0	26
Ph.5 計画の 妥当性	1 事業者の眼	9	19	1	7	9	45
	2 居住者の眼	24	4	0	14	24	66
	3 近隣生活の眼	9	0	0	10	9	28
	4 敷地内外の環境創生	11	34	1	23	11	80
	5 生産的合理性	0	2	5	4	0	11

表3から、プロジェクトは初期に設定されたワークフローに沿って進行したことと、議論の対象となったキーワードの推移が読み取れる。Ph.1, 2では、フェーズをまたいで協議されたキーワードが多く、Google Earth上の情報を基に幅広く協議し方向性を探っていることが読み取れる。Ph.3～5では、各フェーズに設定されたキーワードの出現回数が多く、各検討項目の意思決定段階に進んだことが分かる。Ph.2-3、Ph.3-3、Ph.4-1、Ph.5-4は、複数のフェーズに渡って繰り返し議論された項目で、重要視されていることが分かる。これらの重要項目については、目的に応じてBIMツールやW.L.S.の使い方を変えながら、情報把握/問題発見・解決/設計評価の手順を繰り返して結論を導いたと考えられる。

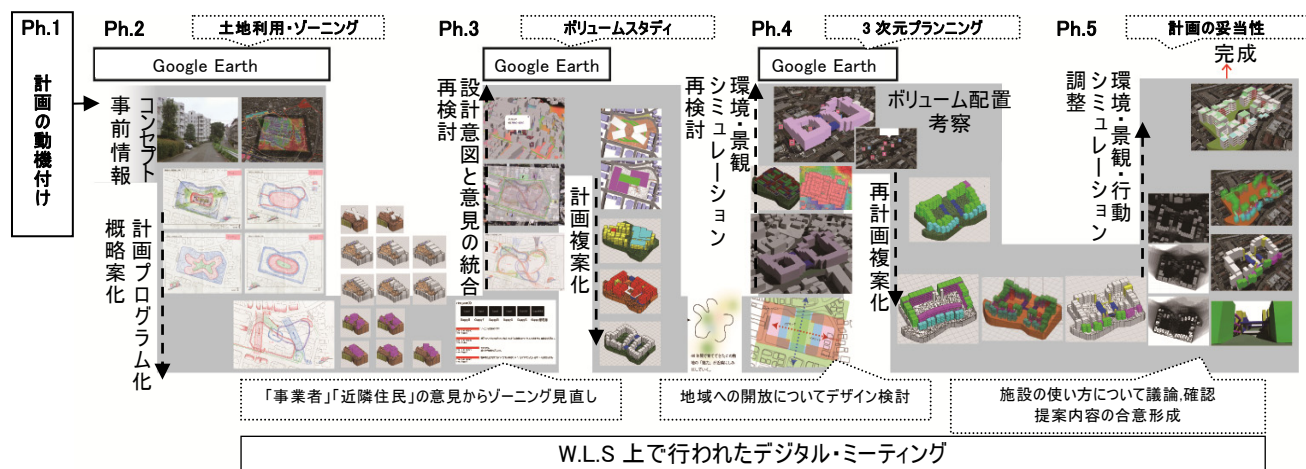


図12 フェーズ毎の検証プロセス

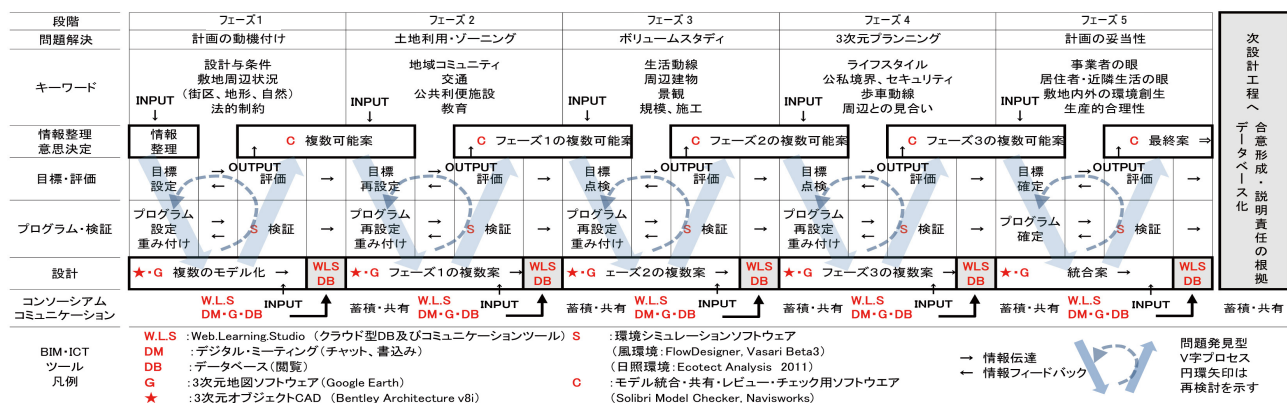


図 13 問題解決型〈建築設計〉プロセスモデル

図 12 は、各フェーズで共有された提案・検証素材の一部を V 字プロセスに沿って列挙したものである。下向き矢印は、情報整理・目標設定・計画案化の作業を示し、コンソーシアムのミーティングの基になった。上向き矢印は、協議結果を考慮して行われた検証作業を示す。

4.2 全体考察

以上のことから、W.L.S は、同期（非同期）非同室のコミュニケーション機会を与え、フェーズ毎に新たな情報を記録・蓄積・共有するデータベース構築の基盤となった（3.1 章）。Google Earth 上での 3 次元情報の共有は、コンソーシアム全体に関連情報を客観的かつ同等に把握させ、短時間での多角的な議論を可能にした（3.2 章, 4 章 表 3）。3 次元オブジェクト CAD や環境解析などの BIM ツールは、固有の環境情報を見える化し、設計の妥当性を検証し、是正するきっかけとなった（3.3 章）。これらのシステムとツールの実効性は、5 つにフェーズ分けされたワークフローに基づく実践結果から確認できた。

図 13 は、今回の実践を連続的な問題解決型〈建築設計〉プロセスモデルとして客観的に記述したものである。BIM モデルの詳細度に合わせて検討し得る課題を提起し、固有の問題を把握し、段階的な PDCA (Plan-Do-Check-Act) を図ることで、解決策を導出するためのワークフローである。これは BIM・ICT を活用した設計コミュニケーション技術の実効性を高める背景として必要であるが、進行中に受信される新たな情報に応じて柔軟に修復できる意識決定システムでなければならない。

4.3 まとめ

システム構築の課題と今後の展望

4 章 表 3 は、プロジェクトの進行状況と特性を知りうるデータだが、事後の分析である。進行中、リアルタイムに状況が把握できる即効性が必要である。また Google Earth 上での 3 次元情報の共有は、プロットと閲覧で留まっている。アイコン化された情報や提案素材群が、建築協働設計の中でどのように活用されたか、コンソーシアムの足跡を情報化、分析できるフィードバックシステムが必要である。Google Earth 上で 3 次元化した情報を

動的に体験できる 3DPDF は、作成、閲覧の操作を簡便にし、ハンドリングを円滑にして利用率を向上させなければならない。

異なる情報、専門性を持つ関係者が、一つの目的に向かって協働し、より適正な解答を見出すためには、常に新たな情報を書き加えながら、局面に応じて PDCA を行い、進行中のプロセスを自由に修復できる建築協働設計のためのワーク環境が必要である。今後の研究において、設計に関わる人々の意思決定に至る経緯を、適確に、リアルタイムに、3 次元で記述できる、創造的な支援システムの構築に向けて、システム思考・B-eIM・問題解決型〈建築設計〉プロセスモデルの統合と、さらなる機能の開発を図り、実践的検証の上で有効性を確かめていきたい。

【注】

- 注 1) Information and Communication Technology
 注 2) 異なる場所にいながら（非同室）、送/受信のタイミングを一致（同期）させつつ対話すること。非同期とはタイミングを一致させず書き込みデータでやり取りすること。
 注 3) 3D CAD モデルデータ等を U3D (Universal 3D) 形式（3 次元 CAD データ標準化のファイル形式）で埋め込んだ PDF ファイル。インタラクティブに情報共有できるドキュメントとして利用価値が高い。

【参考文献】

- 1) W. J. Mitchell; The Virtual Design Studio, 第 17 回情報システム利用技術シンポジウム, 1994. 12, 497-502 頁
- 2) 衣袋洋一, 澤田英行, 飯島貴広; Web ベースコミュニケーションシステムにおける設計・教育支援: 協働設計支援及びシステムの検証と提案, 第 29 回情報システム利用技術シンポジウム, 2006. 12, 19-24 頁
- 3) 衣袋洋一; e-Learning システム「Web Design Studio」による建築設計教育への試み, 第 6 回建築教育シンポジウム建築教育研究論文報告集 No. 8, 2008. 1, 65-70 頁
- 4) 澤田英行, 糸長大佑, 岩間貴昭; e-Learning システム「Web Learning Studio」による建築設計教育への試み その 2: システム思考に基づく体験型授業の実践, 第 12 回建築教育シンポジウム建築教育研究論文報告集 No. 12, 2012. 11, 17-22 頁
- 5) IAI 日本, 「Build Live Japan 2013 開催概要」
- 6) 井上雅裕, 陳新開, 長谷川浩志; 『システム工学 問題発見・解決の手法』, オーム社, 2011, 66-67 頁
- 7) 芝浦工業大学システム理工学部の教育理念 (HP)
http://www.shibaura-it.ac.jp/faculty/system_engineering/index.html

- *1 芝浦工業大学システム理工学部 教授
 *2 芝浦工業大学大学院理工学研究科 大学院生

Design communication technology utilizing BIM and ICT based on system thinking

Architectural design collaboration in Web Learning Studio e-learning system Part 1

○Hideyuki Sawada^{*1} Hikaru Matsubara^{*2}
Shinya Watabe^{*2} Katsuma Ogino^{*2}

Keywords : Architectural design collaboration, Information sharing,
System thinking, Problem-solving, Process Model

The purpose of this study

The aim of this study was to construct a practical work environment for architectural design collaboration that is well suited to today's information society. Against the background of globalization, current social systems are becoming increasingly diverse and complex. Given such circumstances, development of a work environment that enables architectural designers to obtain optimal solutions is a topic of concern. Here we describe an integrated, multifaceted method for developing cooperative architectural design based on Building Information (Imagination) Modeling and Information and Communication Technology (ICT) that enables architectural designers to realize creative architecture with high social value.

Approach

This study concerned the IAI Japan-sponsored Build Live Japan 2013 event, a time-limited architectural design competition that implemented BIM. A team of 16 laboratory students and on- and off-campus supporters was formed. The team attempted to apply a problem-solving process model called the V-model that applied a methodology of systems engineering. This design process was enabled by an e-learning system called Web Learning Studio (W.L.S) implementing stored data and built communications tools on cloud, and by Built-environment Information Modeling (B-eIM), a comprehensive design methodology that expands BIM as an even more creative concept.

Conclusion

A work environment including the V-model problem-solving process model, B-eIM, and various digital tools, all integrated through the W.L.S system, highly stimulated communication between team members. Through constant sharing of design proposals via Google Earth, the team was able to exchange diverse views. Design decisions were incrementally improved through decision-making performed from a more multifaceted perspective. Team communications were gradually compiled into a database, enabling review at any time.

The work environment enabled problem solving related to planning, design, and technical investigation within a limited time frame. It is most effective at conceptual phase, and it enhances effectiveness through integrate plan-do-check-act (PDCA) cycle.

*1 Professor, College of Systems Engineering and Science, Shibaura Institute of Technology

*2 Graduate school of Science and Engineering course, Shibaura Institute of Technology