

# 新車開発最新PLMシステムの 建築BIM—FM共用システムへの展開

株式会社ディベロップメントデザイン 代表取締役 重田 精一郎

建築サービス株式会社 専務取締役 崎山 克彦

## 1 はじめに

トヨタ生産方式（TPS：Toyota Production System）が日本国内において、重視され始めたのはバブル崩壊後のこととなります。バブル崩壊後の低成長経済の中でも、トヨタの業績は他社に比べて相対的に高く、不況に対する抵抗力が高いと認識されたからです（参考：2015年度トヨタの利益率10.1%、VW6.3%、GM4.3%）。近年では、製造業だけではなく物流業・小売業・情報業にも幅広く適用され、TPSはトヨタ方式（TS：Toyota System）の他にJIT（ジット）やLean（リーン）と呼ばれて活用されています。また、海外においても多くの研究や適用が行われております。

海外で注目されるようになったのは、1980年代にマサチューセッツ工科大学が日本の自動車産業、特にTPSを研究して体系化・一般化した「リーン・プロダクション（LP：Lean Production）」による影響が大きいと言われております。1990年代にフィンランド国立技術研究センター及びスタンフォード大学から建築業向けTPSの研究結果として「リーン・コンストラクション（LC：Lean Construction）」が発表されました。1993年に最初のLC国際会議が開催され、日本にも紹介されるに至っています。残念ながら、これまでは日本で導入・適用されて普及している状況にはありません。

しかし、最近になって注目される研究成果が日本でも発表されています。例えば、芝浦工業大学の志

手一哉氏は「アメリカ建築産業におけるTPSとBIM（2015.11.26）」において次のように発表しています。

「サンフランシスコでメディカル関連2社と建築プロジェクトの意見交換をする機会を得た。ここで驚いたことは、両社のプロジェクトマネージャーから飛び出した次の言葉である。「TPSを知っているか？」彼らは、TPSを做ったリーンコンストラクションを実践し、そのツールとして「大部屋（Big Room）」を強調する……。」

また、建築ジャーナリストの樋口一希氏は建設工業新聞連載の「BIMの課題と可能性（2016.2.25）」において、LC、TPSそしてBIMとの親和性について論じておられます。TPSは自動車のモノづくりシステムと思われがちですが、モノの流れと同様に情報の流れも重要なモノとして扱っています。したがって、製造業ばかりではなく、他産業においても適用可能なのです。もちろんBIM等の情報化の進む建設生産システムとも親和性が高いと考えられます。「第6回基礎ぐい工事問題に関する対策委員会」では、委員からの発言の一つとして、次のような意見が出ています。

「今回の事案では、現場の実態や建築業が抱える構造的な問題が明らかになった。重層下請構造の実態把握等を進めつつ、将来に向けた検討が必要である。欧州ではLCという取組みが行われている。リーンコンストラクションにはスリム、引き締まった状態との意味がある。日本の建築業においても、人口が減少していく中でも安心してものづくりに取り組める新しい生産方式を作っていく必要がある。」

## 2 トヨタ生産方式TPSについて

### ①TPSの2本の柱「Just In Time」と「自動化」

TPSは、「Just In Time」（モノと情報は常に一緒）と「自動化」（不具合が起きれば勝手に停まる）が2本の柱になります。TPSの基礎教育における例えとして使われるのは、「車輪はJITと自動化でできており、両者が一体となった時には回転して前に進むが、何方が欠けても回転して前には進むことができない」です。JITは「かんばん」に代表される情報を意味しており、自動化は「ポカヨケ<sup>1</sup>」に代表される仕組みを意味しています。

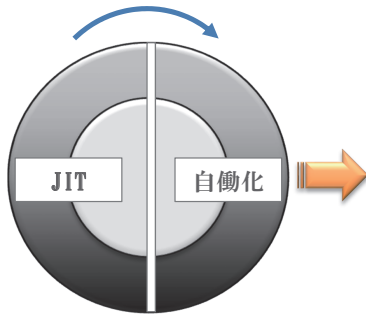


図1 TPSの2本の柱

### ②TPSのベース

TPSが従来からあるIE（Industrial Engineering：生産工学）とどこが違うのかと言えば、IEの「モノ・人・金」に情報を加えて、「モノ・人・金・情報のすべてがタイミングにより成立する」としたことです。これをTPSの基礎教育では、「部品がなければ製品は作れないが、製品を作らない時に部品があってもムダだけ」「稼働日の工場に作業者が居なければ製品は作れないが、休日の工場に作業者が居てもムダだけ」「製品を作る時に部品の購入にお金は必要だが、製品を作らないのであればムダなだけ」そして「製品を作る時に（いつ、どこで、だれが、なにを、なぜ、どのように）の情報がなければムダが必ず出てしまう」と教えて、「必要な時に、必要な場所で、必要な人材が、必要なモノを、必要なだけ、決められた方法で造る・運ぶ」をTPSのベースとしています。

1 誤品は治具にセットできない、欠品は治具が起動しない簡単な仕組み。



人・モノ・金・情報はタイミングがベース

図2 TPSのベース

### ③TPSの特徴「皆が見ている見える化」

TPSの特徴は「見える化」にあります。見える化はビジュアル化だと言われることがありますが、これは指示系（5W1H）だけを表すのであれば、確かに的を射たものです。しかし、見える化には管理系（自動化）の面もあります。そして、管理系と指示系を合わせて初めて見える化が機能します。管理系・指示系という情報システムを連想しますが、トヨタ情報システム（TIS：Toyota Information System）も管理系と指示系で構築され、何方が故障しても片方が補う冗長系のシステムになっています。TISではPLM（Product Lifecycle Management）が構築されていて、最上位に部品表システムがあります（図3）。

先に述べた見える化の管理系は突き詰めれば不具合対策に行き着きます。TPSでは「不具合が起きれば勝手に停まる」ように仕組みができていますが、それだけでは自動化には不十分で、「必ず対策をとる・再び不具合を起こさない：菌止め」が不可欠になります。

そのためには、関係部署（関係者）すべてが必ず目にする「皆が見ている見える化」の仕組みが必要になり、その見える化の仕組みは「帳票システム」になります。帳票は帳簿や伝票のように決められた書式の書類の総称で、現在では3D Excel-XVL<sup>2</sup>帳票の形でインターネットを介した双方向の情報システムが構築されて、皆が見えることが「必ず対策をとる・再び不具合を起こさない：菌止め」になり見える化が完結されます。

2 国内唯一の3DCADデータ圧縮フォーマット。

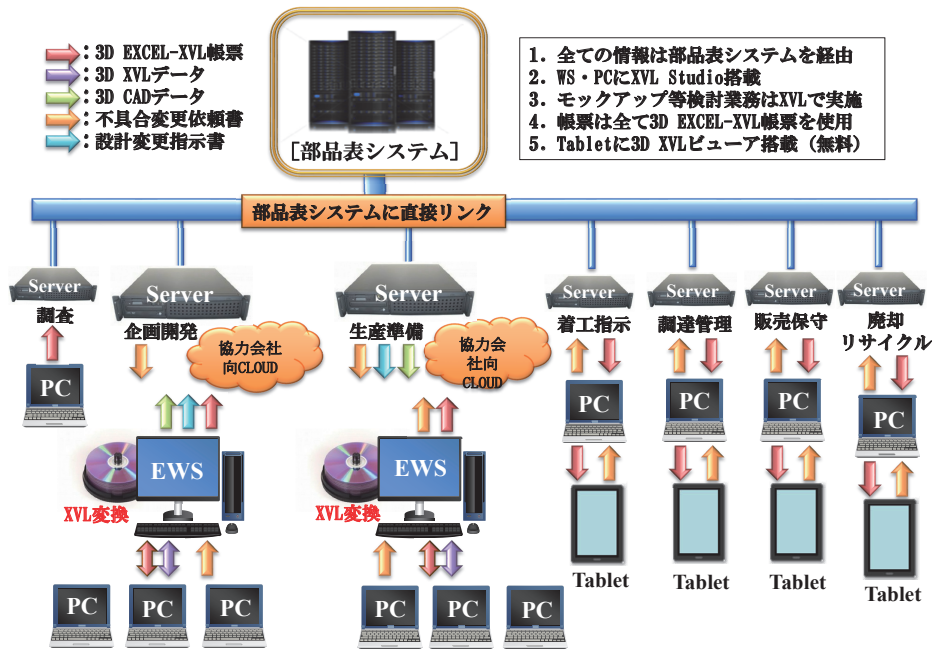


図3 PLM-情報システム一部品表にリンク

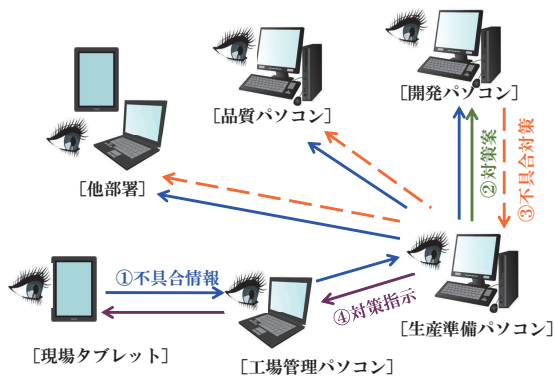


図4 帳票システム：皆が見ていることが歯止め

#### ④TPSの主な手法と実績

TPSには用途に応じた多種多様な手法があります。トヨタの工場では多車種混合生産を採用しています。生産ラインの電子かんばんのデータ「単品管理」から、車種間での実工数（作業+運搬+前段取り）と生産台数のバランスを割り出して、車種別に生産ライン投入のタイミングを調整することにより、作業工程（作業）間の工数バランスをとる平準化を行い、高い作業負荷が特定の作業工程（作業）に偏らないようにして効率化を図ります。

製造業以外の産業でも単品管理で収集したデータの分析結果から、例えば、曜日や時間帯におけるムダのない最適品揃えを予測して、商品の製

造・運搬・販売の計画を平準化することで、在庫をなくしたモノ・人・金・情報の効率的な運用を可能にします。

初期のTPSは製造業中心のシステムでしたがバブル崩壊後に製造業だけではなく、一つひとつの部品に5W1Hの情報を付加して得られるフィードバック情報を分析・管理する「単品管理（バーコードを使ったIoT）」及び、決められた日時に一回の配送で数カ所から部品を調達して数カ所に供給する「定時多回混載運搬」はスーパーマーケット・コンビニエンスストア・宅配便・郵便等・小売・卸業等に採用されて、単品管理と定時多回

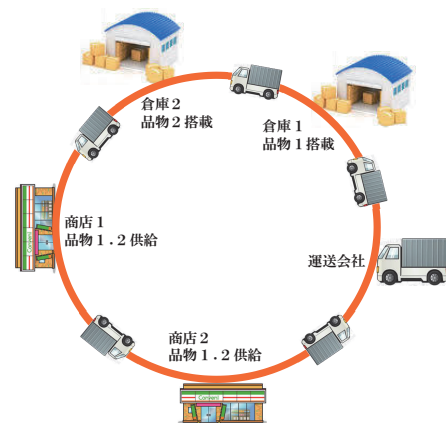


図5 定時多回混載運搬

混載運搬の両手法が相乗効果を生み出し、効率的な調達・運搬・販売システムを構築して、企業利益率の向上・規模の拡大に貢献しているのは周知のとおりです。トヨタの原価低減は何かと問われると、まず始めに「改善」を思い浮かべますが、実は「効率化」の方が原価低減に大きく貢献しています。

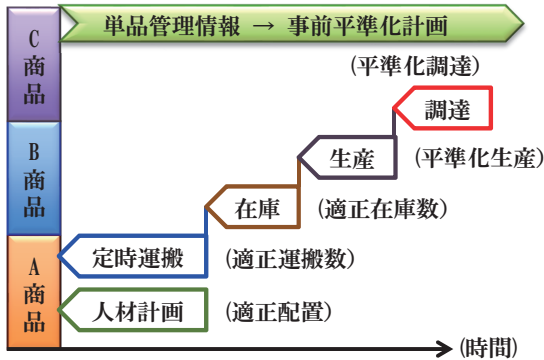


図6 平準化

### 3 最新の新車開発PLMシステムについて

製品の開発においては、SE (Simultaneous Engineering) 手法を、更に3DExcel-XVL帳票を採用しています。

SEとFL (Front Loading) は混同されて使われてしまう場合がありますが、トヨタでは単なる開発業務の前出しスタートではなく、必要なタイミングで開発業務を前出しスタートする「同期スタート」の意味からSEという言葉を使っています。同期とは、最終完成品工程から逆算 (不良品は0) したタイミングで部品生産を開始する「同期生産」から出ています。完成品の開発期間を短

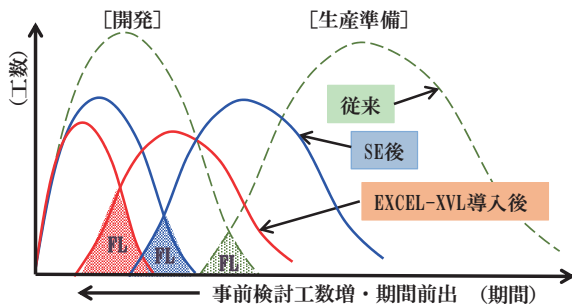


図7 SEの効果・3D Excel-XVL帳票の効果概要

縮した場合、部品の開発期間も短縮しなければなりません。開発中に発生する不具合改修期間も短縮しなければなりません。その対策として、過去の開発不具合の再発を防ぐために、デザインイン・デザインレビューを前出しして他の開発工程との擦り合わせをする必要があります。擦り合わせすることにより、企画段階で重複する不具合対策 (ムダ) をなくして、開発期間の短縮と技術者の効率的な活用を可能にします。

#### [SE効果—実績]

SEが確立される前には自動車の生産準備期間は1年半程かかっていました。SE実施後にはすべての開発に当てはまるわけではありませんが、多くの開発プロジェクトで開発期間が1年未満に短縮される実績が出ています。最近では、SEに3D Excel-XVL帳票を採用することにより、多くのプロジェクトで開発期間を半年程度に短縮できています。3DCADをXVLに変換することにより3Dモデルを軽量 (1/100程度) 化することができ、XVLに付属する機能でモックアップ・干渉チェック等の解析も短期 (1/10程度) でできるようになり、後工程において発生するであろう不具合の芽を事前に摘み取り、開発プロジェクトの技術員数と開発期間をXVL導入前に比べて半分程度に効率化できるようになりました。社内他部署及び部品メーカーのデザインイン・デザインレビュー時期の前出しとリアルタイムフィードバック機能を活用することにより事前検討が効率化され、決められた期間内に事前検討する対象も増やせることで、開発・生産準備におけるFLの比率が質量ともに増すことに繋がりました。また、以前は高額な「エンジニアリングワークステーション+解析ソフトウェア」を使わなければできなかった解析が、3Dモデルが軽量化されることで「一般のパソコン+XVL付属ソフトウェア」で十分対応できるようになり原価低減にも繋がっています。

## 4 建築生産システムへの適用について

日本の建築業に係る人にTPSの話をする、「建築は製造業ではないので、TPSは建築には合わない」と言われることがあります。Excel-XVLを採用した最新のPLMを、建築に適合させた改修をして「BIM-FM共用システム」を開発しました。これをベースにLCを構築することにより、製造業と同様にTPSの成果を得ることができます。

### ①IFC形式と相性

国土交通省官庁営繕部が「官庁営繕事業におけるBIMモデルの作成及び利用に関するガイドライン」(BIMガイドライン)をとりまとめ、平成26年3月19日に公表しました。

その中のBIMソフトウェアの解説で、「各分野で作成したBIMモデルの統合やBIMモデルの後の段階での利用を円滑に進めるためには、各分野で使用するBIMソフトウェアは互換性があるものとする必要がある。BIMガイドラインにおいては、BIMモデルを成果物とする場合はIFC形式のファイルとオリジナルファイルとすることを基本としていることから、BIMモデルを成果物とする場合は、各分野で使用するBIMソフトウェアはいずれもIFC形式のファイルを入出力できるものとする必要がある。」とされています。

BIMデータはIFCに対応しているのですが、IFC対応のXVLとは相性が良いのですが、肝心のBIM用CADのIFC対応が不十分(位置属性)なため、IFC変換後に部品の位置ズレ(接合部でのズレが多い)が発生します。IFC→XVL変換後に簡単な操作で位置修正できる機能がXVLにはついていません。IFCの互換性については「IAI日本構造分科会—IFC互換性検証 2014.5.16」で詳しく分析されています。設計・施工分離は現行のBIM情報システムに「情報の一方通行」の不具合を持たせています(図8)。

BIM-FM共用システムは自律完結するシステムになっています。IFCデータの3Dモデルだけではなく3Dモデルの属性情報も同時に引き継ぐことができます。データ解析やシミュレーション分析で検出した不具合情報は、フィードバック機能により意匠設計データベースに反映されます。フィードバックされた不具合データ(Excel-XVL)は意匠設計パソコン搭載のExcelでも閲覧保存ができます。意匠設計データベースからの意匠設計変更情報(IFC:モデル+属性)は、XVL変換時にBIM-FM共用システムの設計変更管理機能により、自動的に旧データ(モデル+属性)に反映されて管理されます。Excel-XVL帳票上データはリンクしているので、すべての帳票上の旧データも意匠設計変更情報が自動で反映されます(図9)。

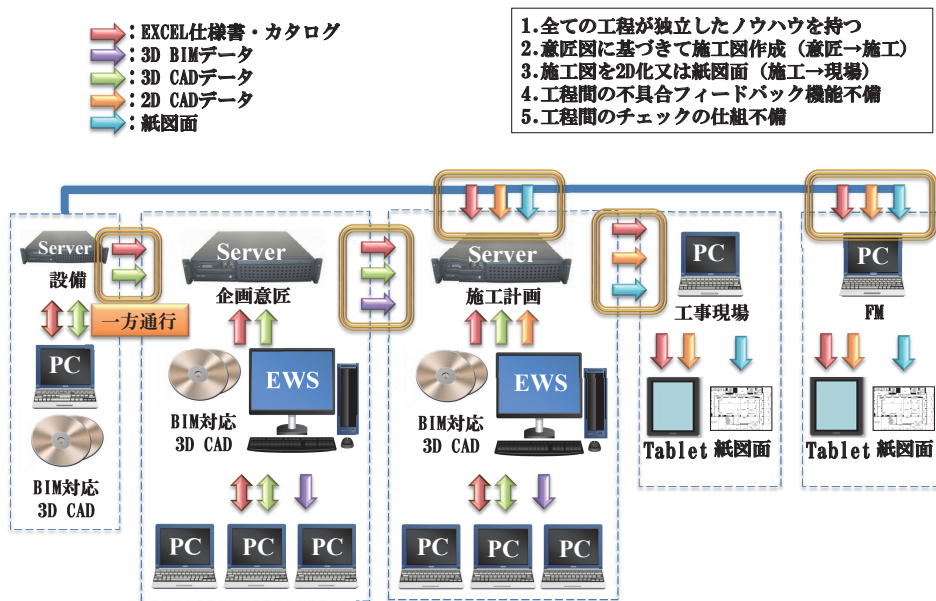


図8 BIM-情報システム—情報一方通行

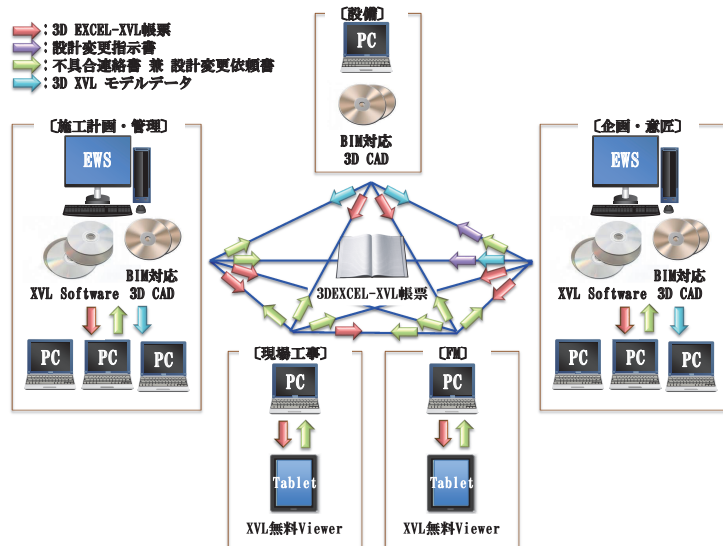
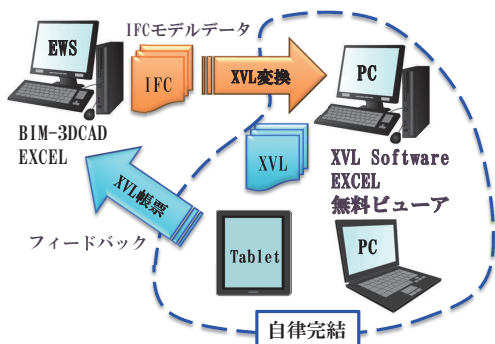


図9 BIM-FM共用システム—情報双方向



\*自律完結：入力品質検認→全て自己責任管理→出力品質保証

図10 BIM用3DCADのIFC及びXVL変換

ストを3Dモデルに置き換えるだけではなく、3Dモデルの属性データもCSV経由で抽出・活用する機能も備えています。例えば、使用している建具表のポンチ絵を3Dモデルに置き換えて3D建具表（3D操作可能）にすることができますし、3Dモデルの属性もCSVで抽出して指定したセルに表示することもできます。3Dモデルは設計変更管理機能により常に最新データが表示されます。3Dモデルにモックアップや干渉チェック結果を表示することもできますので、3D建具表を幅広い用途に使用することも可能です。Excel-XVL帳票上の3Dモデルは3DCADソフトがなくとも、Excelだけで回転、移動、拡大縮小、ウォークスルー等の3D操作ができます。また、Excelのないタブレットでも無料ビューアを搭載すれば閲覧は可能です。

## ②Excelの機能と3Dモデルの操作

Excel-XVL帳票ではExcelシート上に3DXVLエリアを設けて、Excelの機能と3Dモデルの操作を共存させます。従来使っていたExcel帳票のイラ

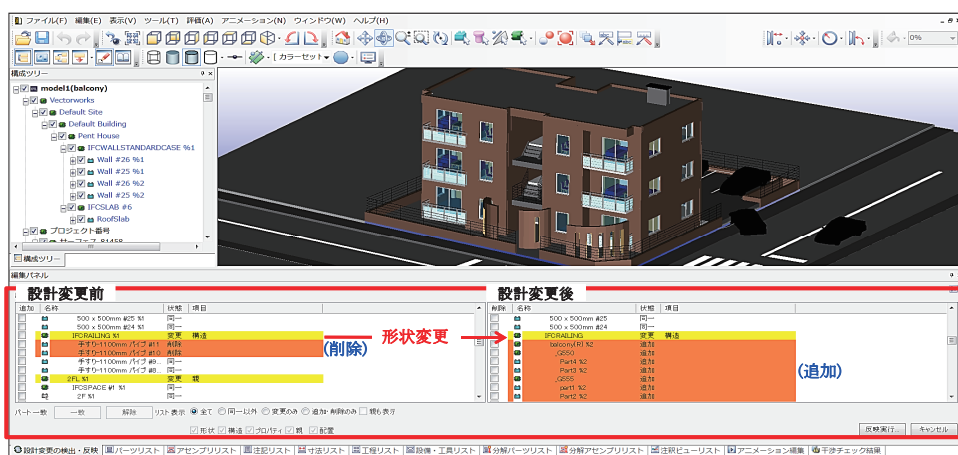


図11 設計変更管理画面一例

ID	パート名	標準品-1MM	状況	値	マーカ-位置	コメント	分類	3D 画像	断面画像
0	角型ダクト- Mitered Elbows -Tap-142427	標準品-1MM 175-563417 #9	干渉	72.54	4777.25,-4538.49,2895.17		重要		
2	角型ダクト- Mitered Elbows -Tap-142427	標準品-1MM 175-563417 #1	干渉	89.57	8873.25,-4457.42,2945.17		重要		
4	角型ダクト- Mitered Elbows -Tap-142427	Verglasung #49 #100	干渉	199.5	-2026.1,31975.3,3264.17		重要		
7	角型ダクト- Mitered Elbows -Tap-142427	標準品- Lamelle 115- 563463 #4	干渉	70.95	-4553.17,9472.02,3041.17		重要		
12	角型ダクト- Mitered Elbows -Tap-142427	標準品-1MM 175-563417 #3	干渉	219.2	45667.7,-591462,3020.67		重要		

図12 CSVデータ抽出画面一例：建具表

### ③設備モデルとの干渉、モックアップ検討

意匠モデル作成後に行う設備モデルとの干渉チェックは多くの工数とノウハウが必要でしたが、XVLの干渉（隙）チェック機能を使うことで、解析時間が短縮（1/10程度）でき、技術員の効率的活用と期間内の解析業務対象の拡充が可

能になります（図13）。

部品名称や部品フロー等文章で書き表される属性を抽出して指定セルに表示できるだけでなく、3DXVLエリアでは部品フローに連携したモックアップ（アニメーション）を表示して、施工手順及び組付品質の検討を行い、不具合があればその場で部品フローの順番を替えて、再度モックアップ検討することで最適な工程設計が完成します（図14）。

建築物を販売した後の施設管理（FM：Facilities Management）についてもExcel-XVL帳票システムを使うことで、前工程と同様にデータの共用だけではなく、マクロ機能を使つての自動化も図れます。

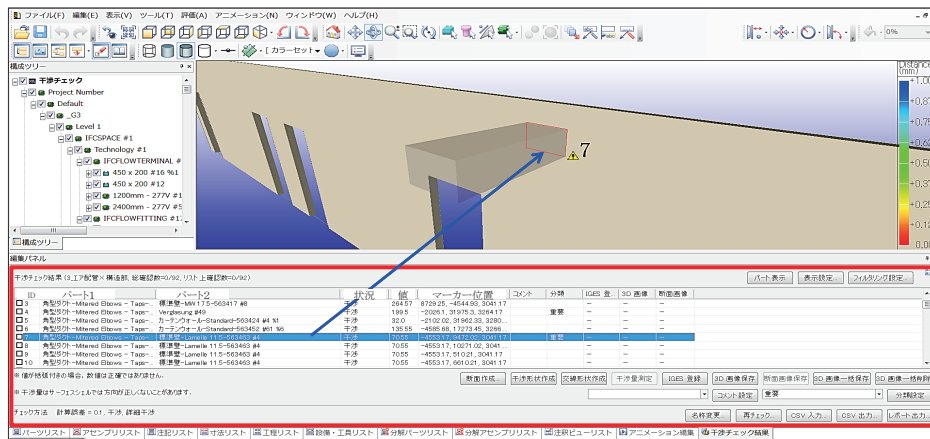


図13 干渉チェック画面一例

プロジェクト名		図面名		作成日																															
DD Building A棟		全体施工手順書		15/11/08																															
プロジェクトNo. 12345		図面No. 887654		竣工日 15/12/31																															
<b>施工手順書</b>																																			
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>No</th> <th>名称</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>11月1日：基礎工事</td></tr> <tr><td>2</td><td>11月5日：柱建設</td></tr> <tr><td>3</td><td>11月10日：屋根設置</td></tr> <tr><td>4</td><td>11月13日：level1_整備</td></tr> <tr><td>5</td><td>11月18日：level1_床構築</td></tr> <tr><td>6</td><td>11月21日：level1_天井構築</td></tr> <tr><td>7</td><td>11月24日：level2_整備</td></tr> <tr><td>8</td><td>11月29日：level2_床構築</td></tr> <tr><td>9</td><td>12月4日：level2_天井構築</td></tr> <tr><td>10</td><td>12月7日：level3_整備</td></tr> <tr><td>11</td><td>12月13日：level3_床構築</td></tr> <tr><td>12</td><td>12月18日：level3_天井構築</td></tr> <tr><td>13</td><td>12月18日：下ア_窓設置</td></tr> <tr><td>14</td><td>12月20日：階段_手摺り設置</td></tr> </tbody> </table>			No	名称	1	11月1日：基礎工事	2	11月5日：柱建設	3	11月10日：屋根設置	4	11月13日：level1_整備	5	11月18日：level1_床構築	6	11月21日：level1_天井構築	7	11月24日：level2_整備	8	11月29日：level2_床構築	9	12月4日：level2_天井構築	10	12月7日：level3_整備	11	12月13日：level3_床構築	12	12月18日：level3_天井構築	13	12月18日：下ア_窓設置	14	12月20日：階段_手摺り設置
			No	名称																															
			1	11月1日：基礎工事																															
			2	11月5日：柱建設																															
			3	11月10日：屋根設置																															
			4	11月13日：level1_整備																															
			5	11月18日：level1_床構築																															
			6	11月21日：level1_天井構築																															
			7	11月24日：level2_整備																															
			8	11月29日：level2_床構築																															
			9	12月4日：level2_天井構築																															
			10	12月7日：level3_整備																															
			11	12月13日：level3_床構築																															
			12	12月18日：level3_天井構築																															
13	12月18日：下ア_窓設置																																		
14	12月20日：階段_手摺り設置																																		
承認	チェック	作成																																	

図14 モックアップ画面一例：施工手順書

図15 施設管理一例：予防保全チェックシート

#### ④プロジェクト間の情報共有

終了したプロジェクトと新たに始まるプロジェクト間の情報共有について解説します。終了したプロジェクトと新たに始まるプロジェクト間の情報共有については、終了したプロジェクトの不具合分析結果を、Excel-XVL帳票で新たに始まるプロジェクトのデザインイン・デザインレビューに織り込んで、再発防止の歯止めをすることにより、プロジェクトの継続性を確保してIBBIM-FM共用データを継承させます。

トヨタでは成功例を申し送りするのではなく、不具合を「べからず集」の形で申し送りをします。それは「うまくやるのは当たり前、うまくいかなければ歯止め」との考え方から、新プロジェクト担当者が同じような不具合を繰り返すことで、プロジェクトの業務効率化の妨げになる原価低減の「負の要因の芽」を事前に摘み取ることになります。

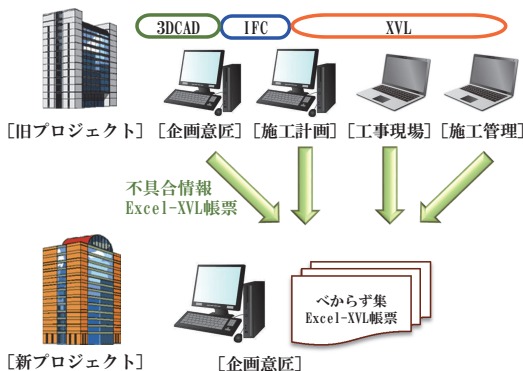


図16 自律完結一例：べからず集

#### ⑤「基礎ぐい工事問題」への対応適用の提案

「基礎ぐい工事問題」の発端となった横浜市都筑区の傾斜マンションについて、提案するBIM-

FM共用システムの適用を具体例として検討します。

本システムでは不具合が起きるのは「人」が原因ではなく「仕組み」に原因があるとしています。そこから、不具合が起れば勝手に停まる自動化の考え方が生まれ、多くの手法も開発されています。基礎ぐい工事問題については、JITと自動化の機能を併せ持つNPチェックがありますので、もし

NPチェックが使われていたのであればこの問題を起こすことはあり得ません。NPチェックを基礎ぐい工事で使用した場合を想定して、NPチェックの仕組みを情報の伝達順番に従い説明していきます。

- ①杭に5W1H情報を見やすく大きく表示（かんばん機能：何時、どこで、誰が、何を、何故、どのように）、くい打位置にも杭に記載したのと同じ5W1H情報を見やすく大きく表示（あんどん機能）
- ②デジタルカメラで杭とくい打位置の5W1H表示を撮影→撮影した映像を現場事務所及び施工会社にデジタルカメラから直接電送（デジタルカメラによるIoT）
- ③杭打機によりくい打ち実施
- ④杭打機の駆動部の負荷を電流計で計測→電流波形をプリンターで出力
- ⑤出力された電流波形をデジタルカメラで撮影→撮影した映像を現場事務所及び施工会社にデジタルカメラから直接電送（IoT）
- ⑥施工会社に送られたデジタルカメラ画像是、JPEG形式で波形表示エリアに自動記載、画像の属性データはCSVフォーマット経由でNPチェックシートの指定セルに自動記載、評価は注記欄に自動フィードバック（見える化）
- ⑦意匠会社及び関連部署のNPチェックシートに自動で⑥記載内容を反映（見える化）
- ⑧意匠会社でNPチェックシートの内容から合格であれば、合格判定を施工会社に通知、不合格であれば、意匠設計時のくい全体の構造解析の



結果から再くい打ちするかしないかの判定結果を施工会社に通知、再くい打ち判定の場合にはNPチェックシートのJPEG画像部は自動で赤塗りされる（歯止め）

- ⑨ 施工会社は判定結果を現場事務所に通知
- ⑩ 再くい打ちの場合、次くい打ちを再開するかの判断を施工会社が判断して結果を現場事務所に通知（歯止め）
- ⑪ 現場事務所は合格判定又は不合格であるが構造上問題がなく再くい打ち不要との判定で次くい打ちを再開、JPEG画像の赤塗りは自動で解除、不合格で構造上問題があるとの判定で再くい打ちが決まった場合、くい打ちやり直しの準備開始、くい打ちやり直しでは合格がでるまでJPEG画像は赤塗りのまま（歯止め）
- ⑫ 履歴はBIM-FM共用システムにより自動で履歴を管理して次くい打ちに反映（歯止め）

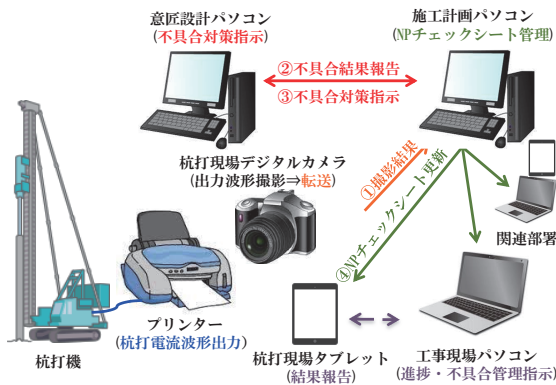


図17 NPチェック一例：くい打ち

元請承認		実施会社確認		耐震補強杭一覧表				作成日：2015/9/6	
承認済	承認済	プロジェクト名：DD Building A棟		施工会社：〇〇〇(株)		責任者：			
赤塗：不具合発生杭									
ナンバ	品名	規格	位置	数量	納期	納期	納期	納期	納期
1	HP-0102	...	25	2015/11/9	2015/11/9	2015/11/9	2015/11/9	2015/11/9	2015/11/9
2	HP-0103	...	30	2015/11/9	2015/11/9	2015/11/9	2015/11/9	2015/11/9	2015/11/9

図18 NPチェック一例：NPチェックシート

## 5 まとめ

TPSのスタートは生産現場で起こった不具合と対策事例を再発防止のために現場教育用の教科書としてまとめたもので、それを整理・体系化して「ムダを省いた効率」を追求するTPSが成立しました。

TPSも電子化→情報化、そしてExcelを使った自律完結型PLMに移行し、コストの捉え方も改善から効率化に重点が移りました。

LCは建築プロジェクトの一貫管理方式で、Lean（ムダを排除した筋肉質）の名の通り効率に重点を置いています。自律完結型PLMをベースにLCに適応させたBIM-FM共用システムも効率を重視したものになっています。

BIM-FM共用システムにおいては、既存のExcel帳票を簡単にExcel-XVL帳票に移行させることができます。既存のExcel帳票機能を維持したままで、3DCAD属性を継承した3DXVLモデルをポンチ絵と差替え、差替えられた3DXVLモデルはインターネットを経由することで、3DXVLモデルの形状と属性は常に最新のものに自動的に変更されます。同じ3DXVLモデルが使われているExcel-XVL帳票は結果的にデータリンクされて、LCにおけるプロジェクト一貫管理が可能になります。

BIM-FM共用システムには、TPSの効率化のノウハウが仕組みとして組み込まれていますので、プロジェクトを貫いた効率化ができる仕組みが備えられています。BIM-FM共用システムを採用することで、既存の建設業界のシステムに関係なく、LCを構築できるのが最大の特徴です。