MBDを起点としたモデル流通事業への展開

加藤　廣*　　松澤　邦裕**　　松原　聖***

Beyond the MBD

Hiroshi Katoh*, Kunihiro Matsuzawa** and Kiyoshi Matsubara***

現在製造業で普及しているMBD（モデルベース開発）の延長上には、ここ10年以内に実現すると見込まれている「モデル流通」の時代がある。これは、言い換えれば、「CADデータによる設計情報の流通」の次に「モデルによる設計情報の流通（モデル流通）」の時代が到来することである。来るべくその時代においては、各企業の競争力を強化するために企業間・産業間をまたがったモデル流通が必要であり、モデル流通によるものづくりが世界標準となることは間違いない。アドバンスソフトでは、MBD事業をモデル流通事業へ発展させ、1つの大きなマーケットを創造すべく事業を行う計画である。本稿では、モデル流通事業を進めるにあたって、当社が貢献できる技術について示す。

Keywords: MBD、モデルベース、モデル流通、インターフェイス、MODELICA、FMU/FMI、OSS

1. はじめに

MBD 分野において、自動車業界でいずれの産業でも事業の一環としてまだ確立していない技術で、かつ、今後必ず必要となってくる技術のキーワードは「モデル流通」である。現在普及しているCADデータは静的な設計情報であり、「モデル」は動的な設計情報である。これまでの歴史を振り返ると、1990年代までにCADの標準規格による「データ流通」が定着した。CAD流通の流れを受けて、2020年代は間違いなく標準規格による「モデル流通」が定着する 10 年となると考えている。アドバンスソフトは、これまで MBD（モデルベース開発）技術を中心として、モデル流通のための要素技術に関する実績を積んできた。本稿では、モデル流通事業を進めるにあたって、当社が貢献できる技術について示す。

*アドバンスソフト株式会社 コンサルティンググループ
Consulting Group, AdvanceSoft Corporation
**アドバンスソフト株式会社　第3事業部
3rd Computational Science and Engineering Group, AdvanceSoft Corporation
***アドバンスソフト株式会社　代表取締役社長
President, AdvanceSoft Corporation

2. CAE 分野の標準化・共通化の歴史

2.1. 概要

これまでのデジタルエンジニアリング分野の標準化・共通化の1つの活動として、CADの利用が行われてきた。自動車産業で 1970 年代から始まったCAD利用は、1980年代には「自動車製品開発へのCAD適用」の定着のあと、1990年代にはサプライチェーンまで巻き込んだ「自動車業界全体での CAD 利用」に発展してきた。つまり、ここでは企業をまたいだ範囲をカバーする CAD による「デジタルデータの流通」が不可欠となった。この背景のもと、CADについては、以下に示す活動が実施された。これらの活動により、CADデータ流通も電子データ交換（EDI；Electronic Data Interchange）も自動車業界の中では定着安定し、今では当たり前のインフラになった。

2.2. STEP

これまでの標準化・規格化に関する第1の活動はSTEPである。STEP（Standard for the Exchange of Product model data）とは、コンピュータが解読可能な工業製品データの表現および交換の規格で

あり、その CAD データ国際標準化活動を呼ぶこともある。STEP は、異なった CAD システム間で 3D-CAD データや図面データをやり取りできる「国際規格中間フォーマット」を設定する ISO の標準化活動の一部であり、1980 年代に始まり現在も続いている。

2.3. CALS

第 2 の活動は、自動車 CALS プロジェクト（V-CALS ； Vehcle-CALS 、 CALS ； Continuous Acquisition and Life-cycle Support）である。本プロジェクトは、経産省主導で上記の「設計 CAD データの STEP」（STEP ; Standard for the Exchange of Product model data）活動の他に「部品メーカーへの受発注の EDI」「整備マニュアルの SGML」（SGML ; Standard Generalized Markup Language）等の標準化のテーマに加えて、「企業間デジタルモックアップ」や「CAD 用データベース PDM システムの検証」（PDM ; Product Data Management）なども実施した。この成果は自動車工業会に引き継がれ、実務展開に至っている。

2.4. JNX

第 3 の活動は、JNX（Japanese automotive Network eXchange）である。JNX は、日本国内の自動車メーカーと自動車部品メーカーなどで構成されるセキュリティの確保された業界ネットワークであり、各種の部品などの取引や情報交換に使用される。JNX は、業界内共通情報ネットワークとして自動車工業会に設置された。V-CALS プロジェクトの終了を受け、継続する活動体として自工会内で「電子情報委員会」を発足させた。この組織の新規の取り組みが「JNX」の新設である。これまでの自動車メーカーごとの情報ネットワークを自動車業界共通のものにした。

この活動の中で、筆者のうち加藤は STEP 国内委員会委員として海外会合参加を含めその責任の一端を担った。また V-CALS では「統括主査（プロジェクトリーダー）」を務めた。その後の、自工会内の電子情報委員会設立に尽力し、発足後は「JNX」作りに尽力した。

3. モデル流通の動向

3.1. 経済産業省の政策

経済産業省による取り組みの概要は以下の通りである。本節、以下の文章は、経済産業省 HP[1] より抜粋である。自動車産業の国際競争力をより高めるため、平成 27(2015)年 11 月に「自動車産業におけるモデル利用のあり方に関する研究会」を設置し、わが国のサプライチェーン全体で、企業間におけるすりあわせ開発を、実機を用いずバーチャル・シミュレーションで開発を行う手法（MBD）により高度化する「SURIAWASE2.0」を進めるために必要な取り組みの検討を行ってきた。平成 29 年度研究会の取りまとめとして、自動車メーカー及び部品メーカーとの参加企業が今後 MBD の利活用をコミットメントした「ガイドライン」「車両性能シミュレーションモデル」と、今後の戦略である「SURIAWASE2.0」を公表した。現在も「SURIAWASE2.0」を中心とした、自動車産業全体における「モデル流通」の実現に向けて、さまざまな取り組みが行われている。

3.2. 自動車産業の動向

2 節に述べた動きのあと、自動車業界においても、機能や開発における電子制御の重みが増し、電子制御を含めた CAE 情報の企業間流通が重要な課題となってきた。ここでは、「制御ロジックを含めた車両挙動モデル」が実現し、設計の質は大きく向上しつつある。しかし、ここで、重要な課題となってきたのが、企業間でのスムーズな「モデル流通」の確保である。各コンポーネントを担当する部品メーカーと車両にまとめ上げる自動車メーカーとの間で、過不足のないデジタル情報の流通が不可欠である。しかも、自動車メーカーや部品メーカーに依存しないような標準的なインターフェイスとして情報を流通させることが必須の条件である。

また、自動車業界では「EV シフト」「自動運転」などの技術変化を支える MBD 業務が重要になり急増している。その MBD 業務とは、具体的には、制御技術検討・制御設計業務、および、車両やエンジンの 1D-CAE モデル構築業務等である。かつ

この課題は自動車メーカーだけの課題に留まらず、今後モデルをやり取りしなければならない部品メーカーや研究機関との連携においても重要課題になってきた。

この背景のもと、経済産業省で実施されている「自動車産業におけるモデル利用のあり方に関する研究会」はこのニーズを受けた活動である。また、これらの活動に関連する「自動車用内燃機関技術研究組合(AICE)」は「業界共通研究機関」である。AICE が大きな役割を果たしている SIP（戦略的イノベーション創造プログラム；Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program）のうち「革新的燃焼技術」は、国の支援もあり V-CALS 以来の大型の「業界プロジェクト」となった。このプロジェクトでは大きな成果[2]を上げ 2019 年度に終了した。その成果をもとにいくつかの活動が実施されているが、その中でも制御や CAE の研究開発ツール作りやデータ流通の確保が課題とされている。

4. モデル流通に対する期待

4.1. モデル流通のニーズ

MBD の必要性については、製造業各社共通の認識があると考えている。ここでは、あるメーカーの納入先に対してもモデル交換が必要であるし、発注先に対してもモデル交換があり、双方に対して「モデル流通」の必要性を感じている。ただし、実行しようとした場合に、モデル交換する相手に「どこまでのモデルを出すか？」という課題がある。具体的には、ある程度の情報を出さないと相手にしてもらえないし、全部出すと自社に不利な情報まで提供してしまうことになるという課題である。

また、各社の社内にはいろいろな部署にも依存した異なるツールがあり、社外よりもまず社内でのモデル交換が必要であるというニーズもある。その場合においても、別部署におけるツール間をつなごうとするのだがうまくいかない、全く別のツールなのでどうしていいのか全く先が見えないという事態も発生する場合もある。また、部署ごとの要求レベルが異なるため、どのようにしてモデルを作ればいいのか分からないという課題もある。

ただし、モデル導入により、実際のモデルを設計者が使ってくれるようになったために共通の議論ができるようになった、というメリットも多い。さらに、検証まできちんとできていることを保証すると、設計者が頻繁に使うようになる。お互いの要望を取り入れながら、双方でモデルを改良することが可能になるような事例もある。さらなる要望として、3 次元の流体解析や構造解析を通常業務として実施している部署からは、3 次元解析を縮約して 0D1D モデルとしてモデルに組み込みたいという要望も出てくるケースもある。特に 3D シミュレーションを日常業務として実施している設計部署はこの縮約が必須である。

4.2. モデル流通のための課題

このような状況に対してもうひとつの課題が、利用すべきツールが高価であるということである。特に、自動車メーカーの利用しているモデルベースに関する高価なツールを、すべての部品メーカーが利用することは困難である。このような課題に対しては、オープンソースソフトウェア(OSS)を利用するという考え方もある。しかし、現場の問題として、OSS を利用するにしても実際にどのようにして解決していけば費用を削減できるか、見通しが立たないという状況もある。

現状ではこの分野のツールは MATLAB/Simulink に席巻されており、コスト面での制約が大きく、中小ユーザーや研究機関が自由に使えないのが現状である。「企業・機関間でやり取りするモデルを構築する」という現場サイドの課題に加えて、企業間で流通させる「モデル記述言語」をどうするか？「ソルバー（シミュレーター）やソフト間の変換ツール」をどう準備するか？のシステム側の課題やいろいろな課題が残る。この課題を「日本の産業全体の課題」ととらえて、日本の産業競争力の強化のための取り組みと位置付け、国の支援も含め、産業界全体で強力に進めることが有意義である。

5. アドバンスソフトのモデル流通事業

5.1. 事業での実施項目

当社では、前節で述べたようなニーズを踏まえ、今後のモデル流通を加速していくことを事業の柱の 1 つとする計画である。具体的なサービス内容としては、次のような内容をそろえている。

① モデル流通のための統合化
② 3D モデルのモデル流通での利用
③ オープンソースソフトウェアの利用
④ 自動車業界以外へのモデル流通の普及

このうち、①はモデルインターフェイスを中心とした各種モデルの統合である。②は当社のこれまでに実施してきたシミュレーション事業とモデル流通の統合である。③は Modelica を利用した中小企業へのモデル流通普及である。④も今後の展開次第では大きな市場の獲得が可能である。このうち④は今後の産業界では必須の技術項目であるため、セミナー等を通して長い目で普及の取り組みを行う必要がある。

5.2. モデル流通のための統合化

(1) ツール間統合の現状

モデル流通を行うためには、多種多様なモデルの結合が必要となってくる。そこでは、いろいろなベンダーのツールが利用されており、また、いろいろな言語が利用されている。それらのモデルは各企業の財産であり、ツールや言語を変更することは不可能である。一方で、2017 年には経産省が SURIAWASE2.0 においてモデル流通の規格案を示している。また、欧州では規格として Modelica を推進しており、その規格を実現するオープンソースとして OpenModelica が公開されている。今後、欧州で Modelica が普及するに従い、各ベンダーのツールは Modelica との FMU/FMI を標準装備している。その一部の Model Exchange および Co-Simulation 機能は、すでに OpenModelica および各ベンダーのツールに実装されている。

(2) モデル統合の問題点

この方針のもと実際にいろいろな部署や会社での各種の異なる環境でのモデル統合を実施する場合には多くの問題が発生する。特に、具体的なモデルの統合を行う場合には、そのリンクに非常に困難を極める。具体的には、

- 業務・モデル分析、インターフェイスの決定
- プラットフォームとして利用できるソフトウェア、統合モデルの作成
- FMU/FMI の実装（Model Exchange と Co-Simulation の双方が対象）

の作業事項である。例えば、細かい話では、①初期条件ファイルなどのパスの決め方がツール特有であることによる個別対応の必要性があること、②ドメインによるタイムスケールの違いの問題、③ドメインの違いで計算のタイムステップが異なりうまく接続できないケースが存在する、等がある。

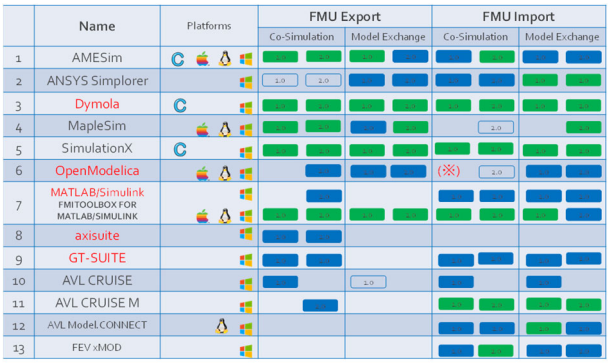

図 1 引用： https://fmi-standard.org/tools/

(3) 言語自体の問題点

最大の問題点は、Modelica は非常に高いレベルの高級言語であるが、言語自体が難解であるという問題がある。これは、モデルを開発したり、連成したりするときに初めて気が付くことである。例えば、独自で接続ポートを定義してしまうとメインテナンスが困難になる。ここでは、Modelica の接続ポートの前提として接続したいモデルと同じインターフェイスクラスを継承するか、それをベースとした拡張インターフェイスクラスを作成することが重要である。

さらにライセンスの問題は深刻である。例えば、FMU Export (Co-Simulation)のように実行エンジンを含むライブラリ（DLL 等）を移植する場合は、移植先でのライセンス契約が別途必要な場合が

多い。しかし、Matlab/Simulink の Export のように、C 言語のソースコード（S-function）を FMU でラッパーしたようなものであれば、ライセンスが必要ない場合もある。

(4) 実現方法の一例

現状ではケースバイケースでこれらを解決しなければならない。例えば、Co-Simulation 連成プラットフォーム」に対して、因果的モデリングツールである既存 MBD ツールをプラットフォームとして採用する。この場合には、読み込む FMU との接続ポートは、既存 MBD ツールの適切なモデルを採用する。FMU に関連する非実装な機能についても、必要に応じてエラー処理と停止処理等は追加する必要がある。

この方法の利点は、既存のモデル資産を流用できることである。非因果モデリングツールについては、マルチドメインの計算が可能である。将来的に他の非因果モデリングツールをプラットフォームとする場合も、同様の方法で対応できる。

一方でこの方法の欠点は、各モデルのプラットフォームのライセンスが必要となることや、時間ステップの違いが問題となる場合は、対応が必要となることである。また、既存ツールが高価なため、今後、関連会社とのモデル流通として展開するときは、プラットフォームの変更（例えば、無料で利用できるオープンソースの OpenModelica に変更する等での価格面での障壁の除去）が必要になる可能性がある。

5.3. モデル流通と 3D シミュレーションモデル

3D モデルと MBD のリンクのニーズに対して、当社では必要に応じた双方への組み込みの開発・利用方法の支援を行うことができる。当社は 3D シミュレーション業務実績が多いことから、0D・1D への縮退モデル等が適切に検討・実装できることが可能と考えている。具体的な作業は、モデルベースへの 3D モデル・詳細な 1D モデルを組み込むこと、3D モデルからの縮約モデルの構築すること、1D モデルを高速化すること等である。

5.4. オープンソースソフトウェア OSS の普及

本節では、OSS として、OpenModelica を想定する。具体的に必要となることは、Modelica 関連の開発・Modelica をプラットフォームとして利用した開発である。当社では、これまで、Modelica の言語仕様や多くのライブラリを理解し開発を実施してきた。また、Modelica を利用した FMU/FMI にも実績を積んできた。特に、従来の流体解析のプログラム開発の経験から Modelica の熱流動に関する 1 次元モデルは数値的な特性を含めて把握していることから、モデル改良等のニーズに応えられると考えている。今後、Modelica を利用した開発力と他の OSS との連携を強化していく。

また、OSS の利用はコスト削減にも有効である。コミュニティで開発され、無料で利用できる OSS はこれからもより機能が充実し、新しいソフトウェアも出現するであろうことが想像できる。MBD ツールに OSS を利用することでモデル流通の普及促進ができると考えている。

5.5. 自動車業界以外へのモデル流通の普及

早くから、プラントモデリング、MBD（モデルベース開発）、MBSE（モデルベースドシステムエンジニアリング）といった分野で事業を展開しているベンダーでは、主に自動車関連企業との関わりが深く、実際に多くの開発プロセスで MBD が浸透している。一方で、これから MBD を使ってみたいと考えている非自動車関連企業では、モデリングツールが極めて高額でありながら、必要とするモデルが既存部品の中に揃っていないということが起こっている。

新しく開発プロセスに MBD を導入する場合に最も重要なことは、「モデルと実際の製品の振る舞いがどの範囲でどの程度一致しているか？」を正しく理解し、正しい判断のもと、開発に活かせるか、ということである。長年の経験から製品の振る舞いは熟知していても、先行開発・性能評価のプロセスに対し、数式モデルの等価性やロバスト性を正しく理解し、試作に替わるような評価が可能になるまでには、同様に長い道のりが必要である。

当社は、新しくモデルを作成し、それらを連成することの難しさを経験し、関連する問題を解決してきている。これまでに得られた知見や実践的テクニックは、MBD をゼロから始めようとするユーザーにとっては貴重な情報となると考えている。

5.6. 実施すべきテーマ例

多様なモデリングツール間でモデル交換においては、これまでに指摘したような問題点のある FMU やその他の方法による個別の解決法を提案していく。また、同時に、Modelica（非因果モデリングツール）による実用的な 1D モデルライブラリを提供していく必要がある。

つぎに、1DCAE と 3D-CAE の連携が必須である。例えば、当社の 3D シミュレーションソフトウェア等を活用した 3D-CAE の詳細解析を行い、その結果として得られた特性を反映した 1D モデルを作成する。また、高精度かつ低自由度化を目的として、3D-CAE による詳細解析から 1D モデルへのリダクションを行う。

さらに、本分野には、AI の活用も有効である。AI による効率的な 1D モデルへのリダクション（機械学習による感度分析や特徴の抽出）や、実験データからモデルのパラメータ同定に AI が利用可能である。

最後に、モデル流通を実現するためには、各モデルの検証とロバスト性の評価が必須である。これには、既存のシミュレーションやモデルを取り込み、活用して検証することが必要である。ロバスト性の評価は、目標からのズレを定量的に評価するための手法（機能）を提案し、検証（ベリフィケーション）と妥当性確認（バリデーション）という 2 つの視点から評価する手法を確立することが必要である。

6. 今後の展望

今後の展望を考えるにあたり、代表的な自動車産業を例にとり、さらに、自動車業界を自動車メーカーと部品メーカーに分けて考える。

自動車メーカーでは既に MBD は普及している段階である。部品メーカーでは必ずしも MBD が普及しているとはいえないが、自動車メーカーからの要請や今後のモデル流通への流れを考えると MBD を導入せざるを得ないであろう。自動車メーカーではプラットフォームに商用ツールを利用していることが多い。当社は、商用のプラットフォームに OSS も含めた各種ツールを積極的利用することで、モデル交換・モデルインターフェイスに対し貢献することができると考えている。その中では、OSS の利用技術もお客様に提供できる技術である。

一方で、自動車業界以外では、MBD の普及があまり進んでいない状況である。今後 MBD を導入する計画の会社では、MBD を正しく理解し、社内の業務とすり合わせていくことができる人材を育てる必要がある。このようなケースでは、初歩的な教育セミナー・プロトタイプ的な 1DCAE モデルのチュートリアルの需要が多く存在する。セミナーだけでなく、無料で使える OpenModelica を勧め、お試し感覚で 1DCAE を始めてもらうことで、MBD 導入の後押しとなると思う。

今後、MBD を導入していない業界がそれぞれに立ち上がるモデル流通の標準化団体から発生するプラットフォーム整備も多くあると考えている。新しい業界での標準化に取り組むことは、産業界への貢献が非常に大きい事業であると考えている。しかし、実際の開発業務で利用できるレベルのモデルの構築を提案することは困難な場面もあると思われる。そのため、今後も自動車業界の成熟した MBD のさまざまな場面に積極的に係わり、知見を深めて心掛けで事業に積極的に取り組んでいく。

参考文献

[1] https://www.meti.go.jp/press/2018/04/20180404003/20180404003.html
[2] https://www.jst.go.jp/pr/announce/20190116/index.html
[3] https://fmi-standard.org/tools/

7. 付録；MBD に関する当社主催セミナー

7.1. これまでに実施したセミナー

アドバンスソフトでは､2019 年 01 月 22 日(火)に「開発効率化、製品ロバスト化実践のための MBD セミナー-MBD の戦略、戦術-」と題して、講演会を実施した。この講演会では、自動車会社において CAE 開発・活用、MBD プロセス改革を長年に渡り手掛けてこられ、現在、サワダ技研株式会社において複雑系ロバスト設計手法の技術研究・研究開発を行われている沢田龍作氏を講師にお招きした。本セミナーでは引き続きの有料セミナーと合わせ合計 5 回シリーズで、1 日目は「MBD の戦略、戦術」と題した概論セミナーとして無料開催した。また、2 日目以降は少人数の有料セミナーとして、2 日目は「MBD の戦略」、3 日目は「MBD の戦術」、4 日目は「MBD の武器」、最終 5 日目は「MBD の導入」と題し、詳細かつ各社様の問題点にも切り込んだ内容として開催した。

図 2　2019 年 1 月の MBD セミナー風景

7.2. 当社における今後のセミナー

自動車分野以外への MBD 普及活動として、大学の講義や学生限定講習会を開催するなど、Modelica 言語と OpenModelica の知名度を高め、Contributor の候補を増やす活動を行っていきたい。この活動により潜在顧客を増やすことや、OpenModelica の高度化につながると考える。OpenModelica が商用モデリングツールの代替として活用できるような発展を期待している。基本的な方針としては､このような OSS の理念に基づく地道な活動から、数後の事業化を目指すことを考えている。

具体的には、これまでの活動に引き続き、当社主催の MBD セミナーを開催することを計画しており、2 つの目的を持って実施する。その目的の 1 つは、既に MBD を導入済の大企業への人材育成・新人教育のためであり、もう 1 つの目的は MBD を導入していない企業の実担当者に対する普及活動である。このセミナーでは、ツールを使う個別のハンズオンセミナーおよび講演会を予定している。

2020 年度には､下記の内容でのセミナーを計画している。ひとつはモデル流通のシステムを開発する際の基盤技術となるプログラミング言語について、オープンソースである OpenModelica のプログラミング作法について、その裏付け理論と実践テクニックを説明する。ふたつめは、公開されているモデルを参考に、OpenModelica を利用して、実際の機能を対象としたモデルベース開発を行うために、プロトタイプの作成や、計算と解析、ツールを利用したポスト処理と評価なども含め、実践的な使い方を習得する。第 3 は、MBD の講師を招き、MBD 開発の現状と展望、またモデル交換の必要性について講演をいただく。また、当社からは、今後モデル交換を実現したい企業に対し､OpenModelica でどのようなことができるかについて説明する。

これらのセミナーや普及活動を通して、お客さまのニーズを抽出し、問題解決法を提案しながら、市場を開拓していくことを計画している。

※ 技術情報誌アドバンスシミュレーションは、アドバンスソフト株式会社 ホームページのシミュレーション図書館から、PDF ファイルがダウンロードできます。(ダウンロードしていただくには、アドバンス/シミュレーションフォーラム会員登録が必要です。)