

モデルベース開発・モデル流通を加速する分散・連成シミュレーションプラットフォーム

Distributed Co-simulation Platform Achieving Model-Based Development Expansion and Model Exchange

北原 博隆 KITAHARA Hirotaka 須田 菜摘 SUDA Natsumi マニーサエン ナニチャ MANEESAENG Nutnicha

製品開発を効率化するため、数値モデルやシミュレーターを活用するモデルベース開発（MBD）が普及している。更に、MBDのモデルを流通させ、複数の企業で利用するモデル流通の動きが広がっている。

東芝デジタルソリューションズ(株)は、複数の企業や拠点にあるモデルを接続したシミュレーション(以下、分散・連成シミュレーションと呼ぶ)を実現する、分散・連成シミュレーションプラットフォームVenetDCPを提供しており、この活用はモデル流通にも寄与する。この度、シミュレーションツール(以下、ツールと略記)を遠隔操作するリモート操作機能を拡充し、異拠点にあるモデルの自動パラメーター推定などを可能にしたことでモデル流通における活用の幅が広がった。

Model-based development (MBD) using numerical models and simulators have become prevalent in efforts to efficiently develop products in a variety of fields. Also, the trend of model exchange for MBD, which are available among multiple companies, has begun to pick up speed recently.

Toshiba Digital Solutions Corporation provides a distributed co-simulation platform called VenetDCP, which interconnects a variety of models distributed at multiple companies and different sites and simulates all models working together as a whole. We are also endeavoring to promote expanded model exchange via VenetDCP. Part of these efforts include further enhancements to remote operation of simulation tools, which can automatically estimate the parameters of models distributed at different sites.

1. まえがき

製品などの開発や改良にあたり、部品やユニットの機能や性能を確認するために、設計段階から実機を試作するのではなく、モデルによるシミュレーションを行うMBDの普及が進んでいる。更に近年、複数企業がモデルを接続して共同でMBDを行う共同デジタル試作が注目されており、この実施のために、モデルを組織や企業の垣根を越えて使用できるようにするモデル流通が重要である。

東芝デジタルソリューションズ(株)は、共同デジタル試作を実現するVenetDCPを提供している。異拠点のツールを遠隔操作できるリモート操作機能を拡充して、2024年2月にバージョン3.4をリリースした。

ここでは、VenetDCPによる共同デジタル試作の概要、リモート操作機能の拡充内容、及び自動パラメーター推定への応用例について述べる。

2. VenetDCPによる共同デジタル試作

VenetDCPは、ネットワークを介して接続した複数のシミュレーションモデルを、時刻同期させて並行的に動作させる通信ミドルウェアである¹⁾。市販されている多くのツールを接続でき、地理的に分散した複数のモデルによる分散・連成シミュレーションを実現する。モデルを相手に渡す必要が

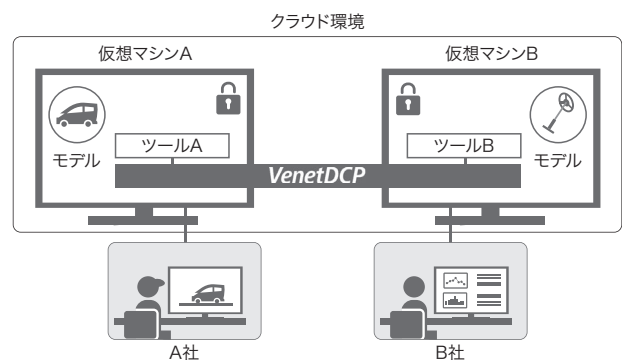


図1. VenetDCPを用いた共同デジタル試作の概要

クラウド環境上の仮想マシンAにA社のシミュレーション環境、仮想マシンBにB社のシミュレーション環境を構築し、VenetDCPで接続することで、全体のシミュレーションができる。

Collaborative digital prototyping via VenetDCP

ないため、機密性の高いモデルを用いた共同デジタル試作ができる。

一方で、接続拠点間の距離が遠い場合など、ネットワークの伝送遅延がシミュレーション速度を低下させる要因になる。そこで、同一のクラウド環境上に各企業が利用する仮想マシンを別々に構築し、その間をVenetDCPでつないで伝送遅延を抑制するのが望ましい。

図1に、VenetDCPを用いた共同デジタル試作の概要を

示す。物理的に一つの開発拠点に集合しなくても共同デジタル試作ができ、容易にシミュレーションを繰り返しながら、開発精度の向上と期間短縮を実現できる。

3. リモート操作機能を用いたモデル流通の実現

図1の構成は、同時に双方の担当者が相談しながら操作を行う共同デジタル試作を想定したものである。一方、VenetDCPのリモート操作機能を用いることで、一人の担当者が相手側のモデルやツールの操作も行いながら、シミュレーションを実行できる。ここで、操作側を“モデル利用者”，被操作側を“モデル提供者”と呼ぶ。リモート操作の際、モデル提供者は無人でも問題なく、モデル利用者にモ

デルを貸している状態である(図2)。

リモート操作機能は、モデル利用者側のリモートサーバーとモデル提供者側のリモートクライアントを組み合わせる使用。モデル提供者側で必要な操作をスクリプト化しておき、モデル利用者がリモート操作機能経由でこのスクリプトを実行して無人のシミュレーション環境をコントロールする。複数のスクリプトの実行順序や条件をあらかじめスクリプト実行シナリオに登録しておくことで、スクリプトの自動実行も可能である。

スクリプトには、バッチファイル、数値計算プラットフォームMATLABのMファイル、及びPythonスクリプトの3形式があり、引数も指定できる。特に、MATLABとPythonは、引数に“a=10”のような式を指定することでワークスペース変数の定義や値の変更ができ、これをモデルパラメーターの変更利用する。

実際にシミュレーションを行う際のスクリプト実行シナリオの例と動作を、図3に示す。(1)～(8)は図中の番号を示す。

- (1) モデル提供者が次の三つのスクリプトを準備する。
 - ① ツール起動：launch.bat
 - ② モデルパラメーター設定：setParam.bat
 - ③ シミュレーション開始：startSim.m
- (2) モデル利用者が、リモートサーバー上で上記スクリプト①、②、③をスクリプト実行シナリオに登録する。
- (3) モデル利用者が自社側のツールAを起動してシミュレーションを開始する。
- (4) モデル利用者がリモートサーバー上でスクリプト実行シナリオの実行を指示する。
- (5) ① ツール起動スクリプトが実行され、ツールBが

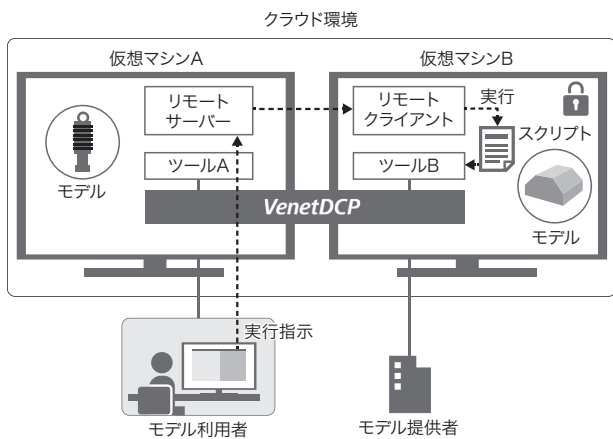


図2. リモート操作機能の活用

モデル利用者はリモート操作機能を使って、モデル提供者があらかじめ準備したスクリプトを実行する。モデル提供者側が無人でも、分散・連成シミュレーションを実行できる。

Remote operation

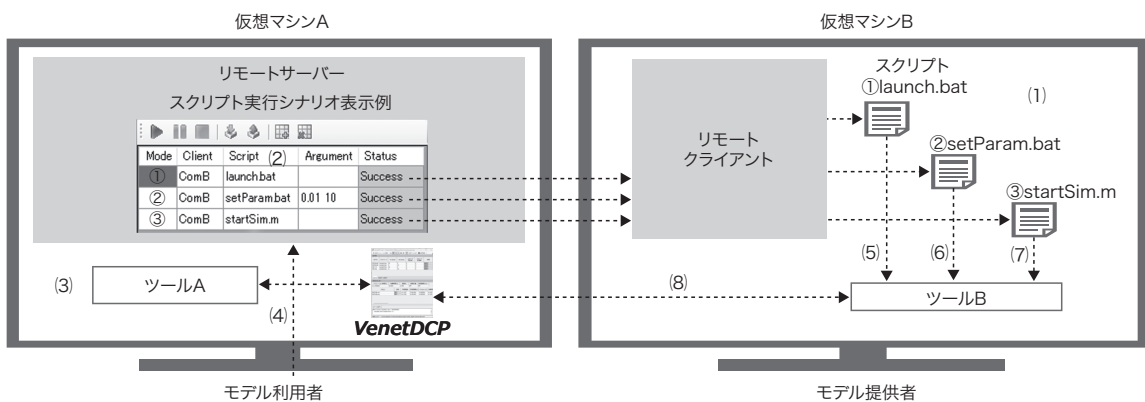


図3. モデル提供者不在での分散・連成シミュレーション

ツール起動、モデルパラメーターの設定、及びシミュレーション開始のスクリプトを登録しておくことで、モデル利用者がモデル提供者側のシミュレーションを開始できる。

Distributed co-simulation based on scripts

起動する。

- (6) ②モデルパラメーター設定スクリプトが実行され、指定したパラメーターがツールB内にセットされる。
- (7) ③シミュレーション開始スクリプトが実行され、ツールBがシミュレーションを開始する。
- (8) VenetDCPがツールA、ツールBともに接続したことを検出し、自動的に分散・連成シミュレーションを開始する。

スクリプトは、モデル提供者が、モデル提供者側のシミュレーション環境の中に作成してモデル利用者に使わせる仕組みであり、モデル利用者側からはスクリプトを変更できない。この仕組みで、セキュリティーを担保する。

このように、VenetDCPはモデル提供者がモデル利用者に安心してモデルを貸し出す基盤として機能し、モデル流通の実現に寄与する。

4. リモート操作機能の拡充とパラメーター推定への応用

様々な設計パラメーターの最適な組み合わせを探索するパラメーター推定のニーズは多く、AIを用いた自動化が進んでいる⁽²⁾。MBDのモデル作成段階では、モデル内の定数や係数などのパラメーターは、未知の場合が多い。入力とその応答が実機の測定データに極力一致するようにパラメーターを定める必要があり、モデルの精度向上のためにパラメーター推定が不可欠である。

通常、パラメーター推定を行う場合、推定機能と対象パラメーターを持つモデルが一つのシミュレーション環境に含まれる(図4(a))。しかし、秘匿のためにモデルを分散配置した場合、図4(b)のように、無人であるモデル提供者側のパラメーターを変更しながら、分散・連成シミュレーション

を繰り返す必要がある。

そこで、このようなケースにも対応するために、次のようにVenetDCPのリモート操作機能を拡充した。

- (1) ツール送信信号値の読み出し ツールから送信された信号値を、3章で述べたスクリプト実行シナリオの引数として設定する。
- (2) ツールの接続・切断の検知 指定したツールがVenetDCPに接続、又はVenetDCPから切断されたことをスクリプトの実行条件として設定できる。これにより、シミュレーション終了後に再度シミュレーション開始、といった操作が可能である。

機能検証のため、拡充した機能、及びブロック線図環境SimulinkのParameter Estimator⁽³⁾を使用し、分散・連成シミュレーションによるSimulinkモデルのパラメーター推定を行った。対象モデルにはParameter Estimatorのサンプルモデル⁽⁴⁾を使用した。

このモデルはエンジンスロットル(以下、スロットルと略記)とそれを駆動するモーターで構成される。スロットルモデルは、内部のバタフライバルブの慣性モーメント、減衰係数、及びばね定数の三つのパラメーターを持ち、モーターモデルは応答遅れのパラメーターを持つ。バタフライバルブの開度について、実機の応答とモデルの応答が一致するように計四つのパラメーターを推定するのが目的である。初期パラメーターのモデルの応答は、実機の応答(実測値)と大きく異なる(図5)。

今回はスロットルモデルとモーターモデルを切り離し、二つのSimulinkの分散・連成シミュレーションとした上で、パラメーター推定を行った。リモート操作によるパラメーター推定の構成を図6に示す。

Simulink Aにダミーモデルを置いたのは、Parameter

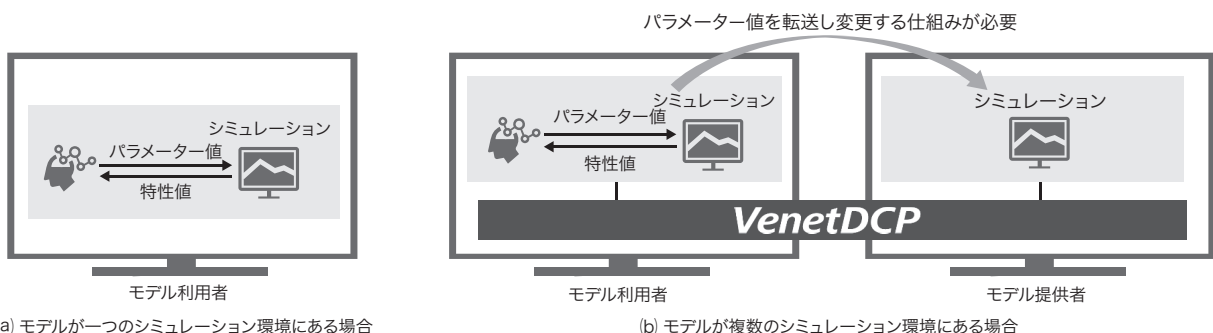


図4. モデルを分散配置する場合のパラメーター推定の拡充

全体が一つのシミュレーション環境にあれば自動でパラメーター推定できるが、モデルを秘匿するために複数のシミュレーション環境に分散配置すると、モデル提供者側にパラメーターを転送して変更する必要がある。

Parameter estimation for model distributed at different sites

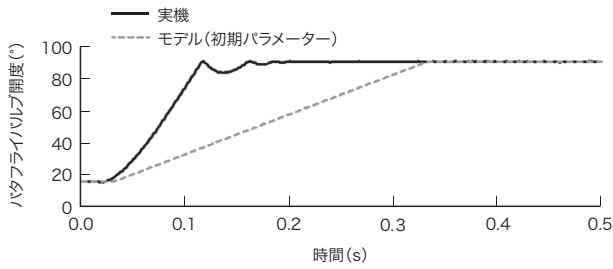


図5. 初期パラメーターのモデルと実機の応答の比較

初期パラメーターのモデルの応答は、実機と大きな差がある。この差を小さくするパラメーターを推定する。

Comparison of response characteristics obtained by actual machine and simulation model using initial parameters

Estimatorの推定対象として、異なるSimulinkのモデルパラメーターを指定できないためである。ダミーモデルにパラメーターを一つ持たせ、モーターモデルの代わりにそのダミーモデルを推定対象とし、更にそのダミーパラメーターの値をツール送信信号としてVenetDCPに渡す構成である。異なる拠点間でのシミュレーションを想定し、Simulink Bの操作はリモート操作機能だけで行った。

パラメーター推定に用いたスクリプト実行シナリオを、図7に示す。このスクリプト実行シナリオでは、Simulink Aがシミュレーションを開始すると、Simulink Bはモーターモデルのパラメーターを設定してからシミュレーションを開始する。

これらの設定を行った上で、Simulink Aを起動してParameter Estimatorを実行すると、以下の流れでパラメーターの推定が進む。

- (1) Parameter Estimatorがスロットルモデルのパラ

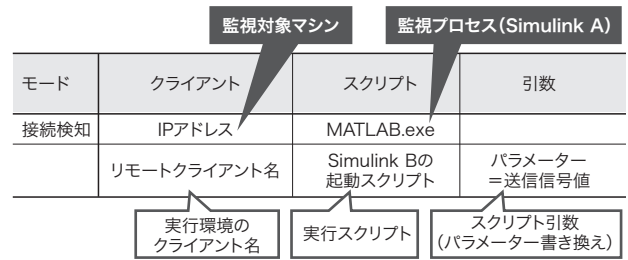


図7. パラメーター推定のためのスクリプト実行シナリオの例

1行目はSimulink Aの接続を検出するための記述であり、2行目はその結果、Simulink BにSimulink Aからのデータを引数として渡した上でSimulink Bを起動する記述である。

Example of script execution scenario for parameter estimation

メーターを設定し、シミュレーションを開始する。Simulink AがVenetDCPに接続する。

- (2) スクリプト実行シナリオによって、モーターモデルのパラメーター設定、Simulink Bの起動、及びシミュレーション開始が自動で行われる。
- (3) Simulink BがVenetDCPに接続され、分散・連成シミュレーションが自動的に開始される。
- (4) Simulink Aの実行が終了すると、Parameter Estimatorが結果を参照して新しく設定すべきパラメーターを算出し、(1)に戻って繰り返す。実機の応答とモデルの応答の残差平方和が設定値以下になったら、推定完了として終了する。

パラメーター推定を実施した後の応答を、図8に示す。モデルの応答が実機の応答と近似する結果となり、分散・連成シミュレーションにおけるパラメーター推定を確認できた。

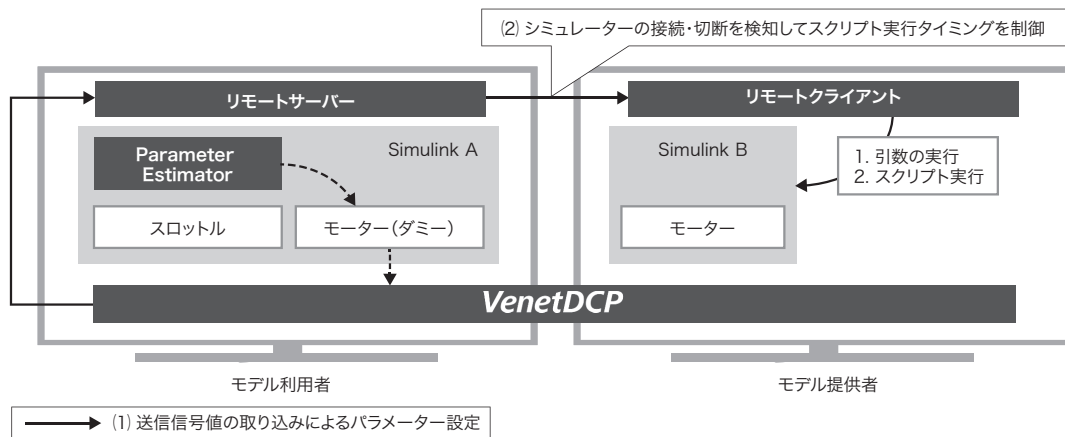


図6. リモート操作によるパラメーター推定の構成

Simulink Aで推定を行い、Simulink Bにその結果のパラメーターを渡す。モーターは渡されたパラメーターで動作する。

Configuration of parameter estimation using remote operation

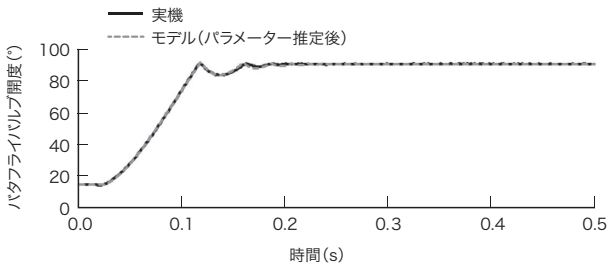


図8. パラメーター推定後のモデルと実機の応答の比較

パラメーター推定の結果、モデルの応答が実機の応答に近くなることを確認した。

Comparison of response characteristics obtained by actual machine and simulation model using parameters after estimation

- (3) MathWorks. "Parameter Estimation". <<https://jp.mathworks.com/help/sldo/parameter-estimation.html>>, (accessed 2024-03-25).
- (4) MathWorks. "Estimate Model Parameter Values". <<https://jp.mathworks.com/help/sldo/ug/estimate-model-parameter-values-gui.html>>, (accessed 2024-03-25).
- (5) 盛本さやか. 広い温度・高入出力域で予測可能なリチウムイオン二次電池の性能予測技術. 東芝レビュー. 2023, **78**, 6, p.56-57. <<https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/jp/technology/corporate/review/2023/06/r01.pdf>>, (参照 2024-03-25).

5. あとがき

複数企業による共同デジタル試作のために、組織や企業の垣根を越えてモデルを使用できるようにするモデル流通、その実現手段としてVenetDCPの活用、及び拡充したりモート操作機能の応用例として自動パラメーター推定について述べた。

今後は、モデル流通の考え方を更に発展させ、“モデル利用サービス”への応用を検討していく。例えば、東芝が持つ二次電池 SCiB™の劣化予測モデル⁽⁵⁾をクラウド環境上に置き、採用検討中の企業が自社のモデルを接続してシミュレーションできるサービスである。接続にVenetDCPを用いることで、機密性の高いモデルを秘匿したままで劣化予測サービスを提供できる。

文 献

- (1) 荒木 大, 萩原裕志. 自動車開発を効率化するモデル・データ共有サービスと分散・連成シミュレーションプラットフォーム. 東芝レビュー. 2021, **76**, 5, p.35-39. <<https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/jp/technology/corporate/review/2021/05/a10.pdf>>, (参照 2024-03-25).
- (2) 東芝. “人手では探索困難な多数のパラメータを自動で最適化するAI「高次元ベイズ最適化技術」を開発”. 研究開発ニュース. <<https://www.global.toshiba/jp/technology/corporate/rdc/rd/topics/23/2312-02.html>>, (参照 2024-03-25).



北原 博隆 KITAHARA Hiroataka
東芝デジタルソリューションズ(株)
デジタルエンジニアリングセンター
スマートマニュファクチャリングソリューション第二部
Toshiba Digital Solutions Corp.



須田 菜摘 SUDA Natsumi
東芝デジタルソリューションズ(株)
デジタルエンジニアリングセンター
スマートマニュファクチャリングソリューション第二部
Toshiba Digital Solutions Corp.



マニーサエン ナニチャ MANEESAENG Nutnicha
東芝デジタルソリューションズ(株)
デジタルエンジニアリングセンター
スマートマニュファクチャリングソリューション第二部
Toshiba Digital Solutions Corp.