MBD 導入による同時二軸延伸装置の制御機構の開発

Development of Control System for Simultaneous Biaxial Stretching Equipment by Introduction of MBD

平川　友大
Tomohiro Hirakawa

落岩　崇
Takashi Ochi-iwa

博士（工学）富山　秀樹
Dr. Hideki Tomiyama

要　　旨

同時二軸延伸（SBS）装置には高精度な制御システムが求められる。このような制御システムを効率よく開発および検証するため、本開発では 3D メカ制御シミュレータを採用して、コンピュータ上で 3D-CAD モデルを用いたモデルベース開発（MBD）環境を構築した。MBD の導入により、制御システムの開発期間を短縮して品質を向上させることができた。

Synopsis

Simultaneous biaxial stretching (SBS) equipment requires high precision control system. In order to develop and verify this control system efficiently, we adopted the 3D mechatronic control simulator and constructed a model based development (MBD) environment using 3D-CAD model on a computer. By introducing of MBD, we could reduce the period of the development and improve the quality of this system.

1. 緒　　言

フィルムの同時二軸延伸（SBS：Simultaneous Biaxial Stretching）装置は、フィルムを縦・横方向へ精密に延伸することで高機能フィルムを製造できる装置である。2019 年 3 月に広島製作所技術開発センターに設置された新 SBS テスト装置（図 1）は、従来の装置とは異なり、縦・横延伸倍率を任意に変更可能な機構を有する。この機構には、数十ものサーボモータ軸が同時かつ緻密な制御が行われており、本装置の制御システムは非常に複雑である。今回は本装置の開発期間はおよそ 8 ヶ月であり、そのほとんどはメカニカル的な機構部分の設計に時間を要した。そのため、この機構に合わせた制御システムを同時に開発することは非常に困難な課題が生じた。このような背景から、本制御システムの開発と動作検証の効率化を図るため、今回モデルベース開発（MBD：Model Based Design）技術の導入を行った。

MBD とは、設計段階で作成した 3D-CAD のモデルを用い、PC 上で各種制御機構を組み込んだシミュレーションに基づいてシステムを開発する手法である。本開発では、3D メカトロニクス制御シミュレータを採用した MBD の開発に取り組んだ。具体的には、3D-CAD モデルに対し、PC へ制御機器（PLC：Programmable Logic Controller）の直接接続を行うことでメカトロニクス機構を設定し、制御機器と連携させて机上で制御システムの開発・検証を実施した。本報では、MBD 環境の構築、机上での動作検証および MBD 導入による成果について報告する。

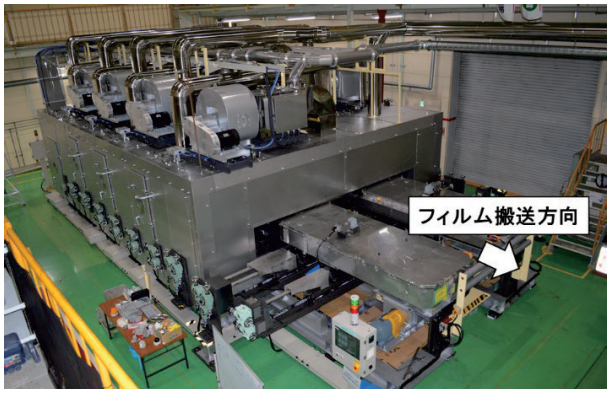

図 1　新 SBS テスト装置の外観

広島製作所 技術開発部
Technical Development Department, Hiroshima Plant

2. MBD 導入の背景

2.1 新テスト装置の機構と制御システムの概要

図 2 に SBS 装置の構造を示す。この装置は左右それぞれ 2 本のガイドレールを有し、そのレール上にリンクが配置されている。フィルムはリンクに取り付けられたクリップによって把持され、スプロケットの駆動により搬送される。リンクの開度は 2 本のガイドレールの幅により変化する機構となっているため、ガイドレール幅を徐々に狭めていくことでフィルムを縦方向に延伸できる。延伸倍率はガイドレール形状によって決まり、縦延伸倍率が固定の場合は 2 本のガイドレールの間隔は固定である。今回開発した新 SBS 装置は、縦延伸倍率が任意に変更可能であるため、2 本のガイドレール間隔は調節が可能となっている。そのため、任意の位置のガイドレール間隔を自在に変更することで、仕様範囲内で延伸倍率を自由に変更できる。

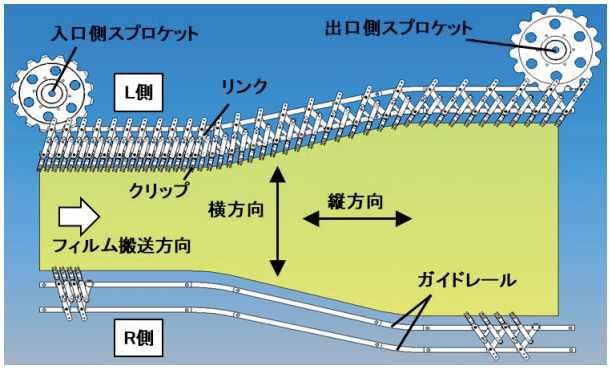

図 2　SBS 装置の構造

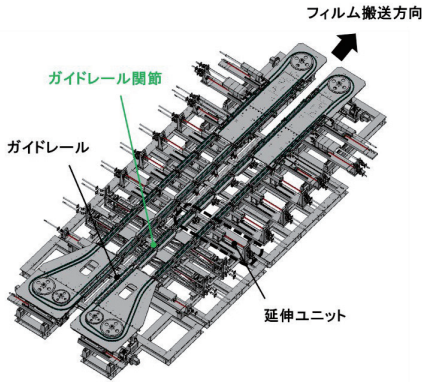

図 3　新 SBS テスト装置の 3D-CAD モデル

新 SBS 装置では、スプロケットの駆動とガイドレール関節による位置調整のため、全体で 50 のサーボモータ軸を駆使する。本装置は複数の延伸ユニットがガイドレールでそれぞれ連結されており、1 つのユニットを駆動させると装置全体が連動する機構となっている。この機構により、特に延伸倍率変更時は全ての軸を高精度に制御する必要があるため、本制御システムは複雑になる。

2.2 従来手法の問題点

MBD を活用しない従来手法では、設計・製造の期間と並行して制御システムの開発を行い、装置完成後にシステムをインストールし、動作を確認しながらシステムの完成度を高めていく。この場合、システム開発は装置全体の仕様書だけを基に実施するため、ある程度の推定および想像に委ねたプログラム編成を余儀なくされる。そのため、実機据え付け後の動作確認では想像と実際の乖離から大規模な修正を余儀なくされたり、あるいは装置が大規模であるがゆえに、現場主体では装置全体の同時確認が困難であり、限られた期間で十分な実機検証を実施するには大きなリスクを伴う問題を有する。さらには、装置の機構が複雑であり、動作確認中にリンクやガイドレールを破損させるリスクが高いという問題も潜んでいた。

2.3 MBD の利点

複雑な制御システムの開発と検証を効率よく実施するために、本開発で導入した MBD では、検証テストの段階で HILS（Hardware-In-the-Loop Simulation）の導入を行った。HILS とは、制御対象である装置はコンピュータ上のモデルを使用して、それを制御するためのコントローラは実物を使用するシミュレーション手法であり、コントローラの実特性を踏まえて制御システムを検証することができるものである。

本開発では、ラティス・テクノロジー株式会社が開発した 3D メカ制御シミュレータ XVL Vmech Simulator（以降、Vmech と表記）を採用し、3D-CAD モデルを活用した HILS に取り組んだ。Vmech 導入により、部品の回転や平行移動などのメカ機構を設定した 3D-CAD モデルと PLC を連携させることができ、机上で制御システムの動作検証が可能となる。そのため、装置工事と並行して動作検証とプログラム修正が可能であり、早期の段階から仮想システム上で制御プログラムを作り込むことができるため、システムの品質を向上させることができる。さらに、任意の視点から動作を詳細に確認可能であり、机上で十分な検証を実施しておくことで実機での検証項目数を最小限に抑えることができる。

3. MBD を活用した制御システムの開発

3.1 制御シミュレーション用 3D-CAD モデルの作成

Vmech を用いた MBD 構築では、装置設計段階で作成された 3D-CAD モデルに対してメカニカル機構を設定し、制御シミュレーション用 3D-CAD モデルを作成した。メカニカル機構の設定には、メカニカル機構設定用ソフトウェア XVL Kinematics Suite（ラティス・

テクノロジー社製）を使用した。本ソフトウェアでは、3D-CAD モデルの部品に対して回転やスライドなどの動作を設定できる。

本開発では、装置の機構を可能な限り忠実に再現することに注力した。まず、図 3 の 3D-CAD モデルを延伸ユニットごとに分解し、図 4 のように各ユニットに対して 4 種類の機構を設定した。機構 A、B はサーボモータ軸の回転によるガイドレール関節位置の調整機構である。機構 C、D は各ユニットがガイドレールで連結されていることによる連動機構であり、機構 D は架台のレールに沿ってユニット全体がスライドする構造となっている。

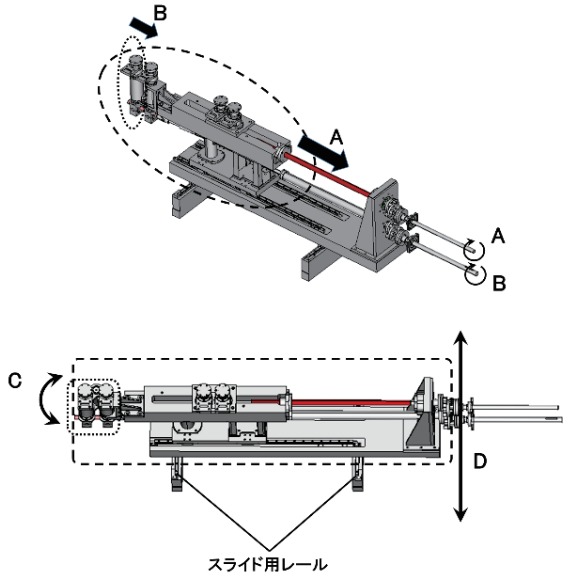

図 4　延伸ユニットへの機構設定

まずは単体のユニットで機構 A、B の動作確認を行い、次にユニットをガイドレールで連結させた。図 5 は機構 D の動作確認のために R 側（図 2 参照）のみのユニットを動かしたときの 3D-CAD モデルである。動作対象のユニットがフィルム幅方向へ移動すると、それに応じて下流側のユニットが連動して上流方向へスライドしており、

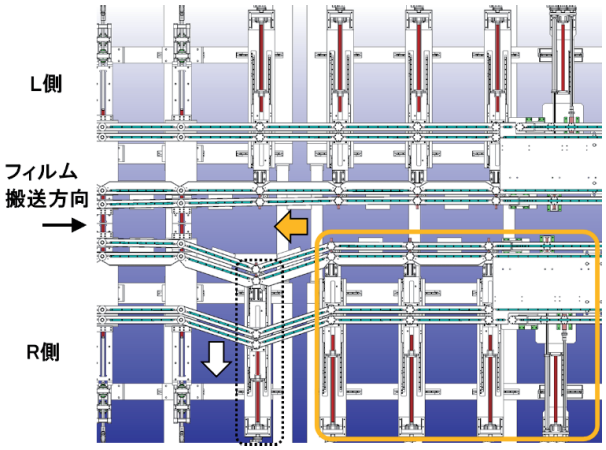

図 5　連動動作の確認

全ての機構が正しく設定されていることを確認できた。これにより、実際の装置と全く同じ動作をコンピュータ上の 3D-CAD モデルで再現可能となった。また、ボルトやナットなどを削除して、機構設定や装置外観に影響を与えない範囲で可能な限りモデルを簡素化することで、必要な機能を維持しつつ演算量を削減できた。

3.2　制御機器との連携

図 6 に、制御シミュレーション用 3D-CAD モデルと制御装置を連携させて MBD を構築した環境を示す。図 7 は環境構成を示すものであり、PLC とタッチパネルは実際の装置に搭載されるものと同型のものを使用した。制御システム開発用コンピュータで作成したプログラムが PLC へ転送された後に、タッチパネルを操作することで Vmech に PLC からの指令が伝達され、その指令通りに Vmech 上の 3D-CAD モデルが動作する。動作検証中にプログラムの不具合を発見した場合、その場でプログラムを修正して即座に検証を再開できるため、デバッグが容易である。

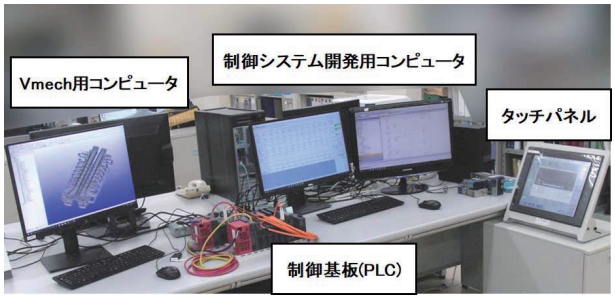

図 6　新 SBS テスト装置の制御システム開発環境

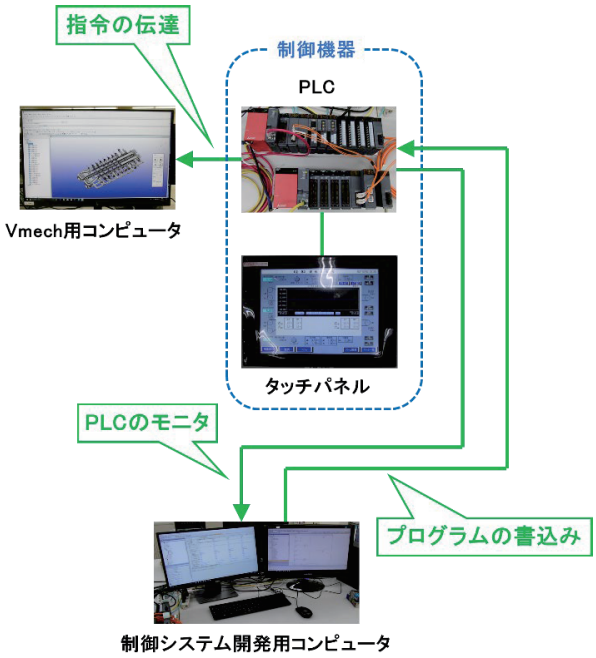

図 7　MBD 環境の構成

3.3　Vmech 上での制御システムの動作検証

Vmech 上で 3D-CAD モデルを動かし、制御システムの動作検証を実施した。3D-CAD モデルのガイドレール位置を取得するため、各ガイドレール関節に仮想の変位センサを配置した。このセンサにより図 8 のようにガイドレール位置データを一括でリアルタイムに取得でき、図面データと比較することでシステムの妥当性の確認を行った。

図 8　仮想変位センサによるガイドレール位置データの取得

4.　MBD 導入の成果

本開発において、MBD 導入による 4 つの成果について記す。

4.1　実機検証期間の短縮

図 9 は SBS 制御システム開発のスケジュールである。MBD を活用しない従来手法ではプログラム作成後に 5 ヶ月の実機検証待ち期間が発生するが、本開発では MBD の活用によりその期間中に Vmech 上でシステムの動作検証と作り込みを進めることができた。その結果、特に複雑な延伸倍率変更動作（図 10）を含めて、実機レスでフィルム延伸に必要な全ての動作の構築および検証を完了できた。

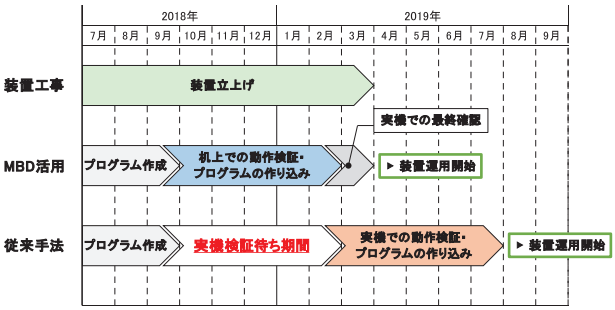

図 9　新 SBS テスト装置の制御システム開発スケジュール

机上で十分な検証を実施したことにより、実機検証では Vmech 上で再現できなかった実負荷発生状態でのモータトルクの確認とプログラムの微修正を重点的に行った。本開発では実機検証項目数を削減できたため、実際の装置を用いた検証期間は 3 週間のみで終了した。従来手法の場合、実機を用いた検証・開発に約 5 ヶ月を要するため、従来手法と比較して実機での検証期間を 4 ヶ月短縮できた。

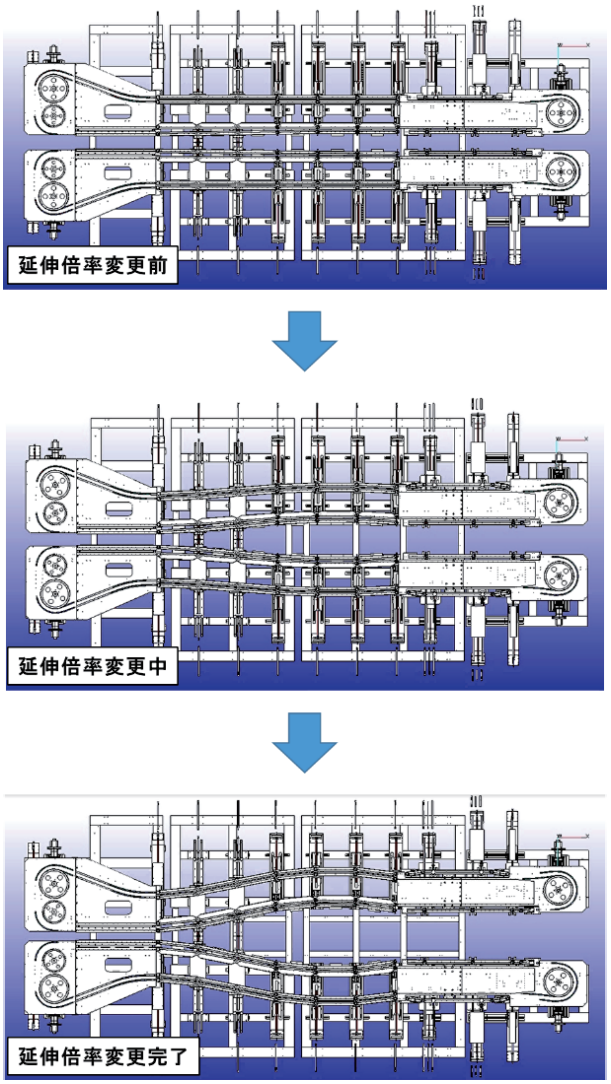

図 10　Vmech 上での延伸倍率変更動作の確認

4.2　制御システムの品質向上

装置の動作検証では様々な延伸パターンで動作を確認しなければならないが、試作段階のプログラムでは不具合により装置を破損させる可能性が高く、実機では慎重に検証を行う必要がある。加えて、実機検証では運転準備やガイドレール位置の計測に時間がかかるため、1 週間で確認できるのは数パターンである。一方、Vmech 上では装置破損リスクが無いため、試作したプログラムを安全かつ大胆、積極的に試すことができた。さらに、

3D-CAD モデルのガイドレール位置をリアルタイムに取得でき、実機での検証と比較して確認時間を大幅に短縮できた。そのため、1 日で 10 パターン以上を確認することも可能となり、多くのパターンを確認できたことで本制御システムの品質を向上させることができた。

4.3　動作検証の精度向上

本装置は、サーボモータ軸の回転による動作だけでなく、ガイドレールで全ユニットが連結されていることによる他ユニットとの連動動作も存在する。サーボモータ軸による動作であれば従来手法でも PLC のモニタリングにより確認可能だが、連動動作は実際に装置のガイドレール位置を計測しなければ確認できない。本開発の場合、実際の装置と同じ機構を有するモデルを作成できたため、連動動作も確認でき高精度な動作検証が可能となった。

4.4　実機検証時でのデバッグ作業の効率化

本開発では、制御機器は実際の装置に搭載されるものと同型のものを用いた。実際の装置に限りなく近い環境を MBD で構築したため、机上で作成したプログラムを変換不要で実際の装置に適用可能となり、逆に実際の装置のプログラムをそのまま机上に適用できる。そのため、実機検証中に不具合を発見した場合、プログラムを持ち帰れば机上で原因の特定やデバッグが可能である。机上であれば不具合発生状況の再現や修正したプログラムでの試運転をスムーズに行うことができたため、実機検証時でのデバッグ作業の効率化を図ることができた。

5.　結　　言

3D-CAD モデルと実物の制御機器を連携させた MBD の導入により、装置工事と並行して早期の段階から制御システムの動作検証と作り込みが可能となり、さらに実機での確認項目を最小限に抑えることができたため、実機検証期間の短縮とシステム品質の向上を両立させることに成功した。また、実際の装置や環境を可能な限り忠実に再現したことで、机上で実機と同等の検証結果を得られるようになり、効率よくデバッグ作業を実行できた。