




国内航空機業界初！ MBD技術コンソーシアムの紹介と今後の展望



MATLAB EXPO 2021 Japan
広がるモデルベースデザイン適用

三菱重工業株式会社

防衛・宇宙セグメント 航空機・飛昇体事業部 航空機技術部 増子 洋一郎

株式会社IHI

航空・宇宙・防衛事業領域 技術開発センター 制御技術部 システム技術グループ 坂井 俊哉

目次

• 1. MBACとは	03
• MBD適用状況	03
• 発足経緯	04
• 活動目的・経緯	06
• 組織構成	09
• 2. MBAC活動紹介	10
• モデル流通WG活動紹介	11
• モデル作成規約WG活動紹介	16
• 3. MBD適用事例紹介	19
• 4. 今後のMBAC活動について	25

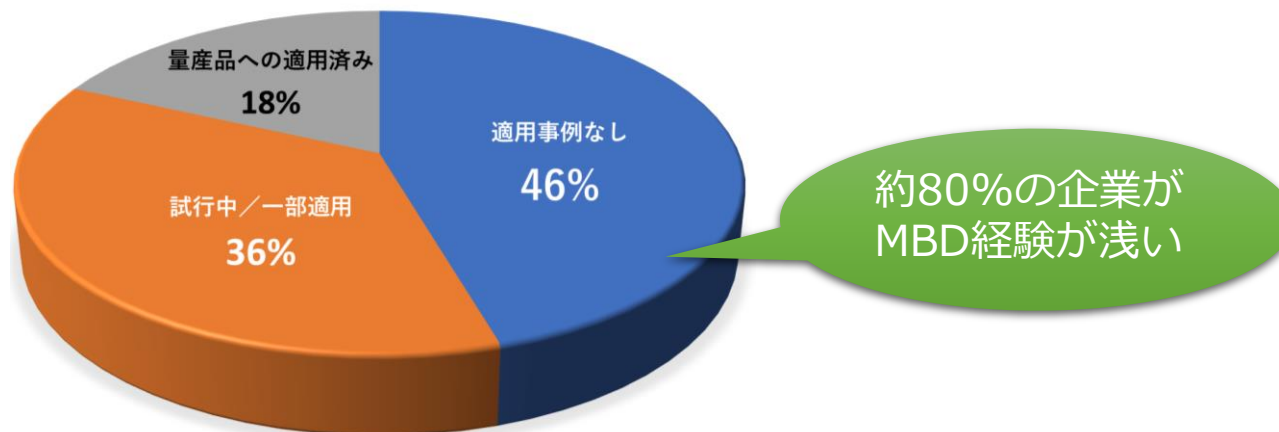


1. MBACとは

MBD適用状況

自動車業界などでは、MBD適用による設計プロセスが採用されてきており、JMAABのようなユーザ会が2001年に発足している。

一方、航空機製造業界では、欧米航空機製造ではMBDプロセスの導入が進んでいるようであるが、比較すると国内では適用が進んでいない状況にある。



**各社のMBD取り組み状況
(MBAC参加企業アンケート結果)**

1. MBACとは

発足経緯

国内航空機製造業界でMBDの導入や人材育成が進みにくい理由として、以下が考えられる。

- 新規開発には**長期間**が必要である。
- 運用期間が極めて長く、**開発機会が少ない**

国内航空機製造業界でMBDの導入を進めていくにあたり、

- 欧米との競争に**打ち勝つ**ため
- 益々複雑化するシステムの**設計効率・品質を向上**させるため

を掲げ、2019年12月 国内企業11社のMatlab/SimulinkユーザがMathworksに集結し、MBDへの取組状況と今後について議論・共有を行った。

1. MBACとは

各社の悩み（参加者意見）

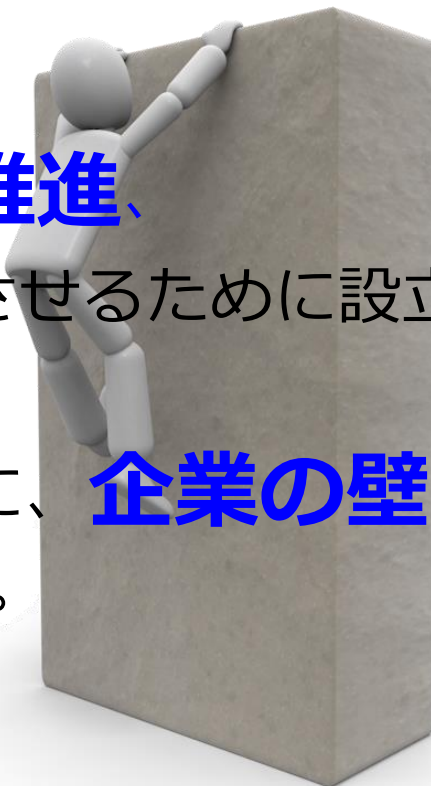


1. MBACとは

活動目的

日本の航空機製造業界における**MBSEとMBDの推進**、
Matlab/Simulinkベースの設計・開発環境をより発展させるために設立した
ユーザ会である。

航空機開発における効率的な開発環境を構築するために、**企業の壁を
越えて協調していくことを基本理念**とする。



1. MBACとは



MBAC

Model – **B**ased **A**viation development **C**onsortium

航空機開発におけるMBD技術情報交換会

1. MBACとは

活動経緯

- 2020年1月：
 - ✓ 正式に「[MBAC](#)」の発足を決定した。
 - MBAC規約案の検討
 - ワーキンググループ（WG）でのテーマ募集
- 2020年3月：
 - ✓ 「[モデル流通WG](#)」および「[モデル作成規約WG](#)」で活動開始
- 以降、各WGが1～2回/月の割合でオンライン会議で協議

モデル流通WG

モデル作成規約WG

課題抽出WG

言葉の定義WG

スキル管理WG

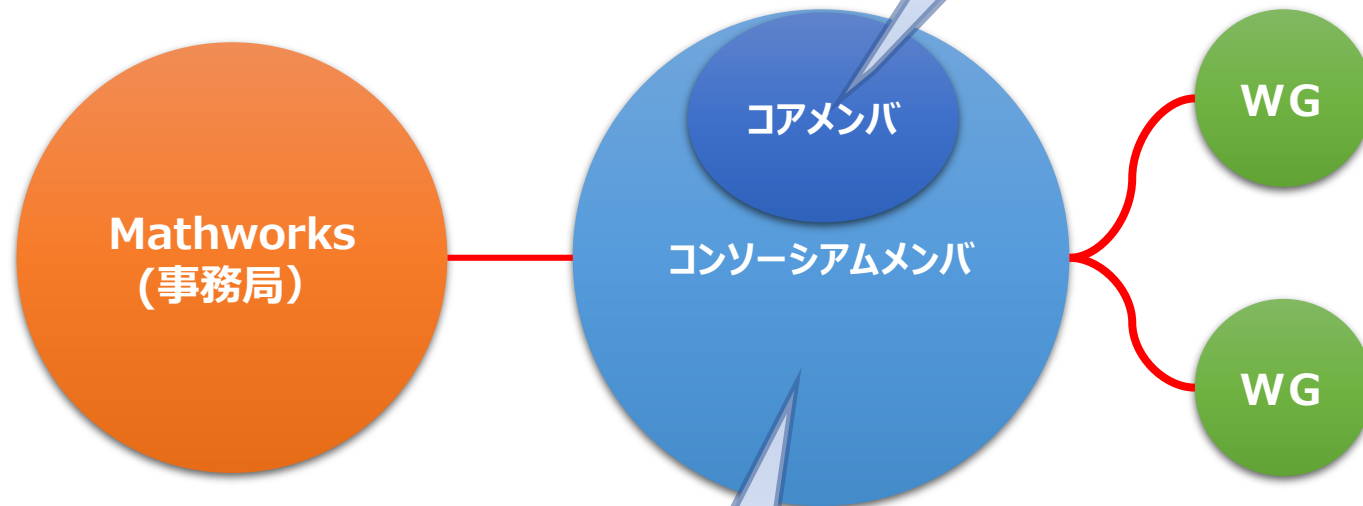
課題解決WG

1. MBACとは

組織構成

MBACの運営，発展のために必要な計画・活動案の策定，議題の選定などの決議・採択を行う。

メンバー企業：IHI, SUBARU, 東京計器, 日本航空電子工業, 三菱重工業（50音順）



（コアメンバ含む9社が参加）

- ✓各WGへの参加資格を有する。
- ✓WG活動テーマの提案および、WG幹事の資格を有する。



2. MBAC活動紹介



2. MBAC活動紹介



◆ モデル流通WG

➤ 概要

- I. 仕様書の一部としてモデルを授受する際の取り決め等を定める。
- II. 仕様の一部をモデル化することにより、会社間の意思疎通を円滑にすることを目指している。
- III. 取り扱う対象モデルは、Simulinkモデルおよびシステム仕様モデル(SysMLおよびSystem Composer)とする。
- IV. 実際に会社間でデータ授受を試行して、困りごとや留意点を抽出する。

➤ 最終目標

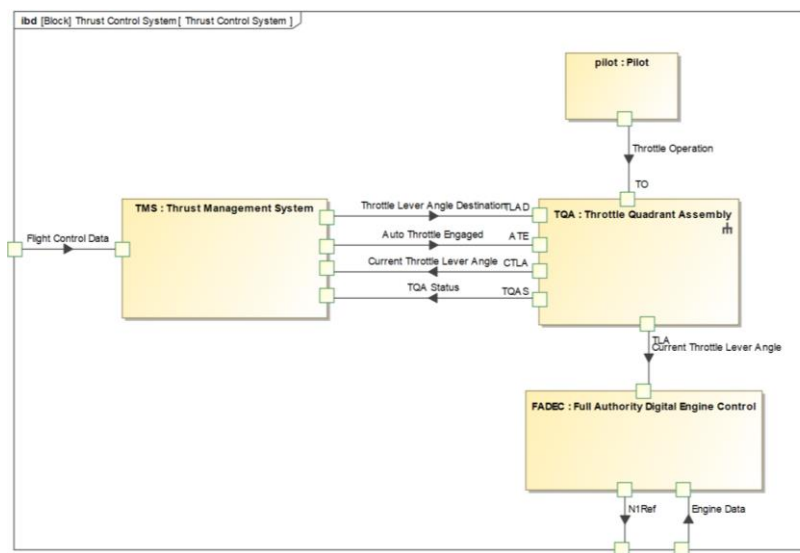
- I. MBAC提唱のMBD標準設計プロセスを制定する。
- II. 要求仕様書等の会社間でデータ授受するドキュメント等のフォーマットを作成する。

2. MBAC活動紹介

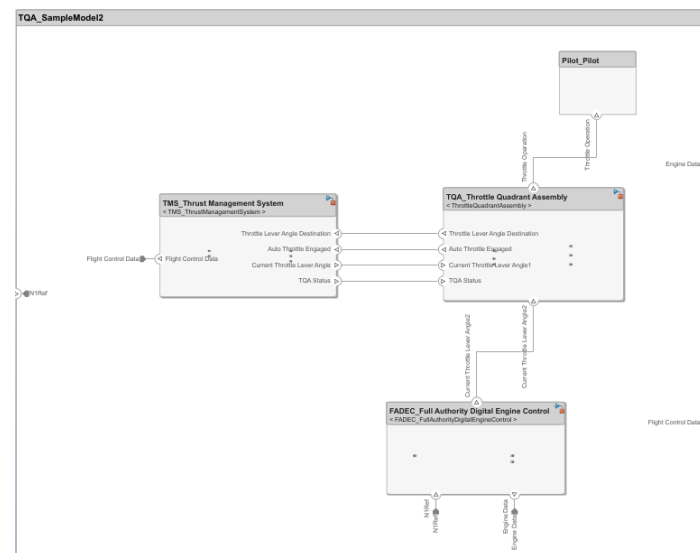
◆ モデル流通WG

➤ 活動実績

- 2020年6月から月1回のWG会議を実施している。
- モデル活用のシーンを、「システム設計」および「シミュレーション検証」に分けて課題等の抽出のために試行を行った。
- システム設計に関しては、SysMLツールと「System Composer」での比較を実施。



SysMLツールのモデル



System Composerのモデル

アーキテクチャモデルが容易に作成できる。

Simulinkとのリンクが可能

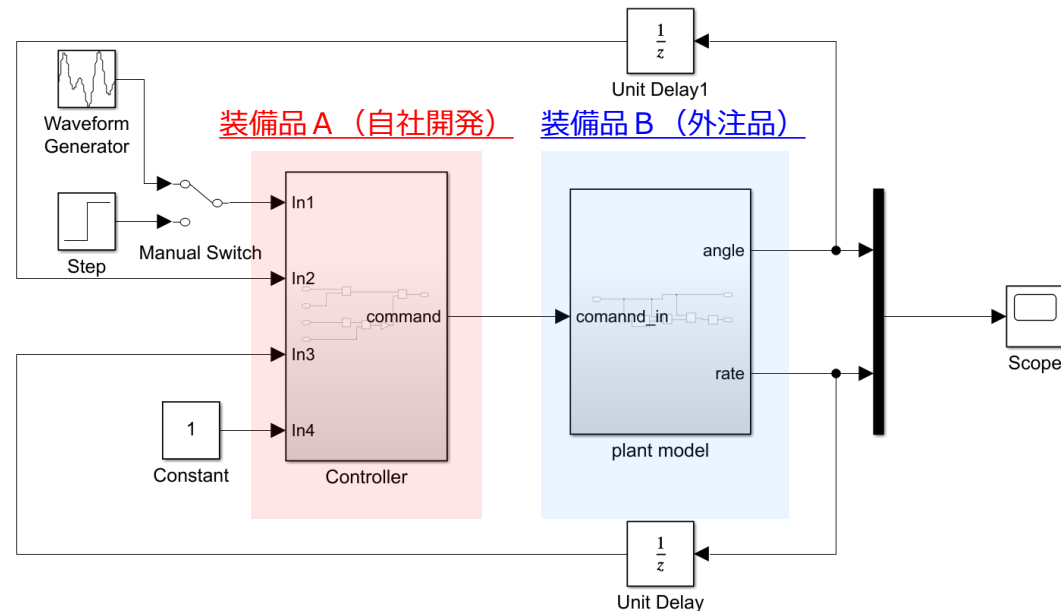
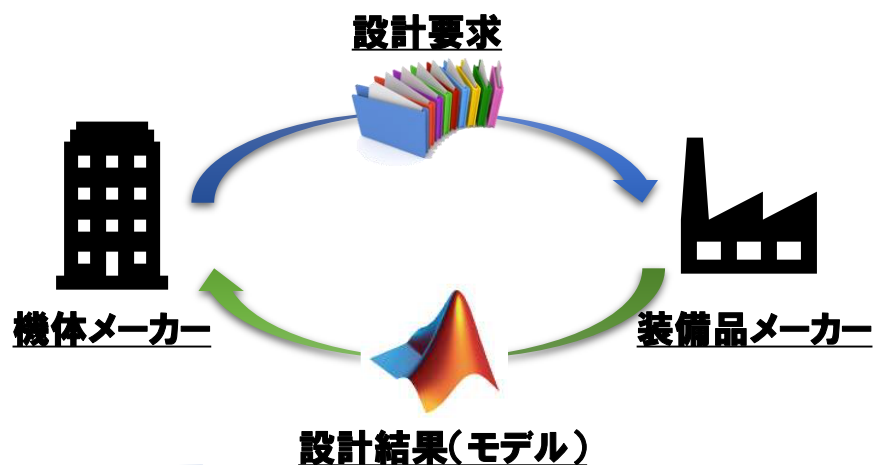
Simulink Requirements等を利用することで1つのツール群で要件定義から検証、コード生成まで全てのプロセスが実現可能

2. MBAC活動紹介

◆ モデル流通WG

➤ 活動実績

- 「シミュレーション検証」では、コントローラモデルおよびプラントモデルを会社間で授受する試行を行った。
 1. 装備品Aを機体メーカー、装備品Bを装備品メーカーが設計を担当。
 2. 機体メーカーから、装備品Bに対する設計要求を提示。
 3. 装備品メーカーが装備品Bを設計する。(プラントモデルを作成)
 4. 設計結果(モデル)を受領し、機体メーカーで装備品Aと接続したシミュレーションを実施する。



2. MBAC活動紹介

◆ モデル流通WG

➤ 活動実績

- 授受するモデル情報を記載したフォーマット案を作成し、モデルと合わせて両社で本フォーマットによる情報の授受を試行。⇒ **課題の洗い出しを実施。**

両社のバージョン
管理が課題

モデルの隠蔽を
規約にする？

シミュレーション結果、
手順も授受した方が良い

モデルの概要、
動作説明を
記載すべき

システム名				
plant model				
モデル概要				
入力				
名称	単位	範囲	内容	
Command_in	A	N/A	トルク指令	
出力				
名称	単位	範囲	内容	
angle	deg	N/A	現在のレバー角度	
rate	deg/s	N/A	現在のレバー角速度	
モデル動作環境				
使用ツール、及び、バージョン	MATLAB/Simulink 2019b			
設定パラメータ等	PreLoad.m に含む			
サンプル周波数	PreLoad.m に含む (0.01sec)			
その他				
備考				
「トルク指令」を入力として、「現在のレバー角度」、「現在のレバー角速度」を出力するプラントモデル。PreLoad.m は plant model モデルのパラメータファイル PreLoad.m を呼び出す。				
版数	内容	会社名	作成者	日付
NC	plant model.slx PreLoad.m	装備品メーカー	坂井	2021/4/1

モデル仕様例



2. MBAC活動紹介



◆ モデル流通WG

➤ 今後に関して

● プロセス試行に関して

- ✓ 「システム設計」については、引続きSysMLツールと「[System Composer](#)」の比較・利用検討を進めてMBSEの標準化を進めていく。
- ✓ 「シミュレーション検証」については、試行して分かった課題に対して解決案を検討する。

● MBACとしてのMBSEおよびMBDによる[標準設計プロセスの定義](#)を実施して、各種フォーマット作成を進めている。

● 今年度中に、成果物の完成、MBACでの共有を目指して、鋭意活動を継続中。



2. MBAC活動紹介



◆ モデル作成規約WG

➤ 概要

- I. 統合シミュレーションを活用してシステム開発を行う上で、それぞれの装備品担当会社でモデルを作成することを想定する。
- II. Simulinkモデルを取り交わす場合に必要となるモデリングスタイルについての規約を整備する。
- III. 本活動は、JMAAB発行の「制御モデリングガイドラインVer.5.1」を参考にし、航空機開発において必要となるルールを定める方針で活動する。

➤ 最終目標

- I. モデル作成規約の制定
 - ✓モデル作成者とレビューア等の関係者で共通の理解が得られるようにする。
 - ✓各社の規約作成時の参考とし、時間短縮を図る。
 - ✓各社のMBDに関するレベルを上げて業界の底上げを図る。



2. MBAC活動紹介



◆ モデル作成規約WG

➤ 活動実績

- 活動期間は、2020年6月～10月に月1回のWG会議を実施した。
- 毎月のテーマを決めて各社での規約案を集約し、WG会議で最終案を決定した。
- Stateflowに関しては、**使用実績が乏しかったため規約作成は見送った。**

計61件の規約を制定

規約ID	アルファベット	内容	件数
	a	ファイル、フォルダー関係	2件
	b	Simulink関係	42件
	c	Stateflow関係	1件
	d	MATLAB関係	2件
	v	モデルの可読性	13件
	x	参考として将来に検討	1件

会社名	氏名
種類	削除 ・ 追加 ・ 修正 ・ コメント ・ 保留
Style_Guideline_ver5.1 該当ページ	75
Style_Guideline_ver5.1 ルールID	jc_0121a
内容 (Style_Guideline の内容を簡単に)	
加減算ブロックの[アイコン形状]は”四角形”に設定します。 ただし、フィードバックループの場合は、[アイコン形状]を”円形”に設定できます。	
意見	
Sum ブロックはデフォルトで円形なので、Sum ブロックは、フィードバックループの場合のみで使用するべきではないか。また、通常の加減算をする場合は、Add ブロックを使用するべきと考える。 ここまで規定する意味があるのでしょうか？ 多数の信号を演算する場合はブロック数が多くなってしまいうため、以下のいずれかの変更を提案する。 ・このルールを削除する。 ・加算と減算を整理して記述するルールとする。(OK例: ++++, NG例: +++) ・加算と減算を分けてブロック化する。 フィードバックループ以外で円形を使用しても特に違和感はありません。 意見ありません 「Add」ブロックを使用するルールにすることにし、「Sum」ブロックを使用しないルールとしてはどうでしょうか？フィードバックも全て「Add」で四角アイコンにする。	

参考とするJMAAB規約

規約に対しての各社意見、提案等。

モデル作成規約意見例





2. MBAC活動紹介



◆ モデル作成規約WG

➤ 今後に関して

- モデル作成規約を**初版として発行し**、目標を達成することが出来た。
- 今後、本規約を基にMBDへの**経験値を蓄積していき改訂・維持**していくWG活動を行うことを考えている。

MATLAB, Simulink および Stateflow モデル作成規約

初版：2020年12月
航空機開発における MBD 技術情報交換会
Model-Based Aviation development Consortium
(MBAC)

© Copyright 2020 MBAC. All rights reserved.

3.4. ブロック共通
3.4.1. b_0009 インデックスの使用法

規約 ID	b_0009
規約名	インデックスの使用法
参考規約 ID	db_0112

規約

サブ ID	記述内容	カスタムパラメーター
a	ベクトル番号のインデックス モードは"0 ベース"に統一する。	

【例】

【例外】
インデックスが「0」に統一されていない。

参照

サブ ID	内容
a	* 統一のインデックスを使用することで可読性が向上する。 * C 言語の配列インデックスに合わせることで可読性が向上する。

© Copyright 2020 MBAC. All rights reserved.

3.6.2. b_0021 加減算ブロックの使用法

規約 ID	b_0021
規約名	加減算ブロックの使用法
参考規約 ID	jc_0121

規約

サブ ID	記述内容	カスタムパラメーター
a	加減算を処理する場合は、「アイコン形状」を「四角形」に設定する。 【例外】 フィードバックループの場合は、「アイコン形状」を「円形」に設定しても良い。	

【例】
「Sum」, 「Add」に関係なく「四角形」に設定する。

【例外】
フィードバックループの例

なお、「円形」に設定した場合は、符号リストに「+」など先頭に「+」を追加しないと下図のような形状になるため注意が必要である。

【参照】
「円形」に設定している。

© Copyright 2020 MBAC. All rights reserved.

MBAC モデル作成規約例



3. MBD適用事例紹介

3. MBD適用事例紹介

◆ 会社概要(株式会社IHI) **IHI** Realize your dreams

創業
1853(嘉永6)年

資本金
1,071 億円

連結売上高
13,865 億円(2020年3月期)

従業員数(連結)
28,964名

工場
6工場

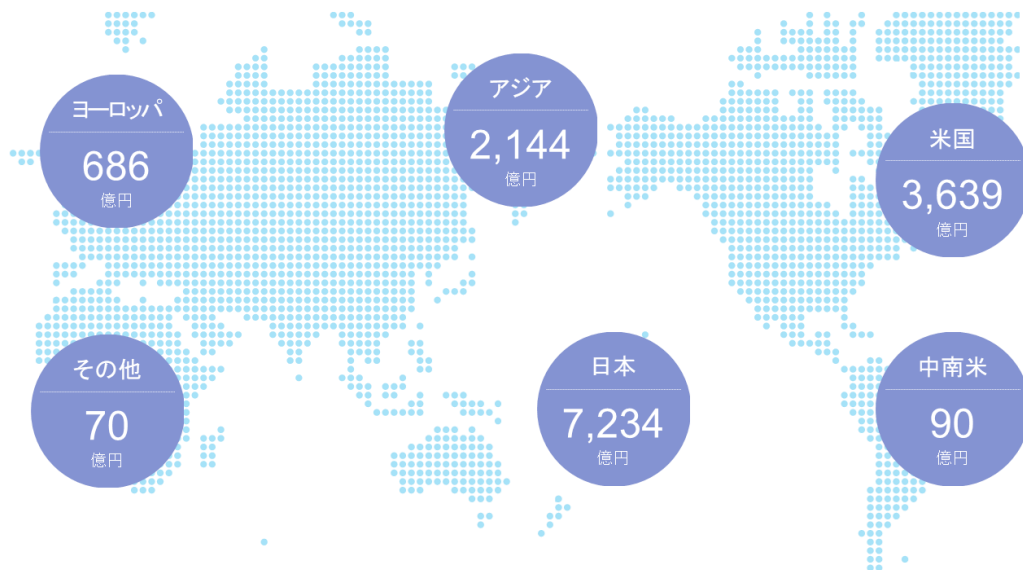
支社
8力所

国内関係会社
65社
[子会社:47社 関係会社:18社]

海外関係会社
151社
[子会社:128社 関係会社:23社]

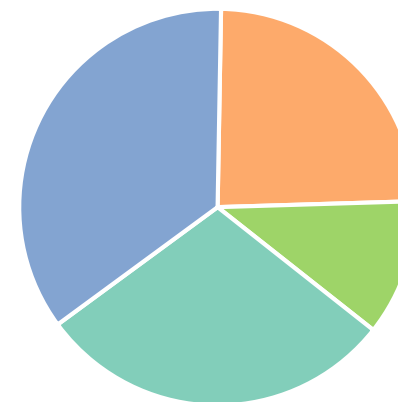
海外事業所
14力所

地域別売上高(2020年3月期)



※ 金額はすべて億円未満を切り捨てて掲載しています。

事業領域別売上高比率(2019年度連結)



■ 資源・エネルギー・環境 24%
 ■ 社会基盤・海洋事業 11%
■ 産業システム・汎用機械 29%
 ■ 航空・宇宙・防衛 35%

※ 事業領域以外の「その他」「調整額」を除外しているため、合計が100%とならない場合があります。

3. MBD適用事例紹介

◆ 航空機エンジン制御技術に関わる業務を担当

システム設計
・制御システム
・電気システム
・燃料油圧システム

組込ソフトウェア設計
MILS, HILS
リアルタイムシミュ
レータ設計

システム ソフトウェア

制御理論

システム同定
制御ゲイン設計
ダイナミックエンジン
モデル

主に
「Control System Toolbox」,
「Optimization Toolbox」,
「Robust Control Toolbox」,
「MATLAB」,
「MATLAB Coder」,
「Simulink」,
「Simulink Coder」,
「Stateflow」を使用。

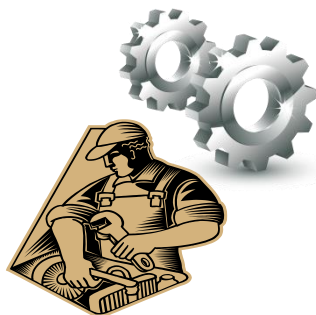
3. MBD適用事例紹介

◆ エンジン制御システムの歴史

1950年代～

油圧機械式

3次元カム等の機械的な動きで制御



1970年代～

油圧機械式

最適化

戦闘機系

コンピュータ

民間機系

現在

FADEC

Full Authority Digital Electronic Control

全電子+(油圧機械式)

全電子式

油圧機械式
(バックアップ)

全電子二重系

全電子式

全電子式

・技術的限界

- ・コンピュータ技術の進歩
- ・信頼性向上

- ・より精度の高いエンジン制御
- ・デジタル・データを活用した故障診断／対応
- ・ソフトウェア改善によるバージョン・アップ

3. MBD適用事例紹介

◆ IHIでのソフトウェア開発について

1990年代後半～

オートコード・ツール⁽¹⁾を導入



ハンドコード



オートコード

注1: Mathworks社製品ではない。

2000年～

MATLAB, Simulinkを導入

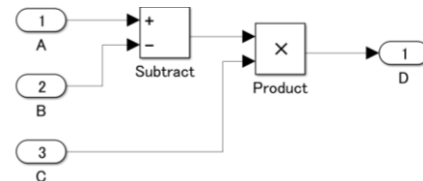


MATLAB, Simulinkによる

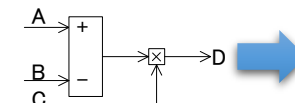
制御ロジック設計, MILSを開始

2010年代～

Simulinkと連携したオートコード・ツール⁽²⁾を導入



Simulink



オートコード・
ツール



ソースコード

注2: 使用しているプログラミング言語の制約で、「Embedded Coder」を使用していない。

- ✓ エンジン制御のアプリケーションソフトウェアは、**全てSimulinkでロジックを作成し、**オートコード・ツールを使用してのコーディングを実施している。(ハンドコードは、BSPのみ)
- ✓ コーディングおよびオートコード用モデル作成⁽³⁾による**バグの混入は「0」**である。
- ✓ 制御設計者とソフトウェア設計者の**垣根が曖昧**になってきている。

注3: 2013年以前はツールが連携していなかったため、Simulinkモデルから手作業でオートコード用モデルを作成していた。

3. MBD適用事例紹介

◆ IHIでのソフトウェア開発について

- ・機能分割が手間である。
- ・MILSを実施するのに、変数の型は関係ない。



制御設計者



ソフトウェア設計者

- ・ソフトウェア構造などを意識しないので、巨大なモデルになっている。
- ・変数の型を意識していない。

垣根をなくしたMBDプロセスの再構築中

社内

社外

- ✓ Simulinkモデル作成規約をコーディング規約レベルに引き上げ中。
- ✓ モデル管理方法の検討中。



制御・ソフトウェア設計者

- ✓ MATLAB/Simulinkトレーニングを積極的に利用⁽¹⁾
- ⇒2020年に初受講⁽²⁾。独学より、早期に有意義な技術習得が可能である。

注1:「Simulinkによる設計検証」および「Simulinkモデルの管理とアーキテクチャ」受講計画中。

注2:「Simulinkモデルの検証と妥当性確認」、「自動車分野向けstateflow基礎」および「MATLABによる対話型アプリケーションの構築」を受講



4. 今後の活動について



4. MBAC今後の活動について

◆ WG活動に関して

- 「モデル流通WG」の活動は継続しており、今年度中にはMBACとしての標準的なMBDプロセスを制定したいと考えている。
- 要求仕様書などのドキュメントのフォーマット案の作成を継続して進める計画である。

◆ MBAC活動に関して

- 参加企業内でのMBD普及を進めるため、各社で共通している課題の「スキル不足」や「社内普及活動」を解決できるようなWG活動を進めていきたい。(WGは随時募集中)
- 国内の航空機業界でのMBD普及および技術力向上に、MBACは貢献する。
- MBACホームページの作成を検討している。今後は、成果物の共有等を行いたい。

「ONE TEAM」で、世界に勝てる技術力を!



4. MBAC今後の活動について



**国内航空機製造関係者で
MBACへ参加を希望される方は、以下へご連絡ください。**

MBAC 事務局

MathWorks:道後 祥一 (ydogo@mathworks.com)

奮ってご参加ください。