

航空機開発における MBSE / Model-Based-Designの適用は進んでいるのか

MATLAB EXPO 2023 JAPAN

2023.5.31

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



1. 自己紹介／会社紹介
2. SEとMBSEの歴史
3. 航空機開発におけるMBSE／Model-Based-Designの適用
4. まとめ

1. 自己紹介／会社紹介
2. Systems Engineeringの歴史
3. Modelの活用
4. 航空機開発におけるMBSE／Model-Based-Designの適用
5. まとめ

1. 自己紹介

増子 洋一郎 (ますこ よういちろう)

1991年 三菱重工業株式会社に入社

＜主な担当業務＞

- FS-X/F-2飛行制御システム開発
- 先進技術実証機 飛行制御システム開発
- 有人/無人機飛行制御システムに関する研究
- 航空機搭載用飛昇体 など



出典：航空自衛隊ホームページ
https://www.mod.go.jp/asdf/equipment/all_equipment/F-2/images/photo09.jpg



出典：航空自衛隊ホームページ
http://www.clearing.mod.go.jp/hakusho_data/2016/html/nc044000.html

1. 会社紹介

会社概要

社名	: 三菱重工業株式会社
創立年月日	: 1884年（明治17年）7月7日沿革
設立年月日	: 1950年（昭和25年）1月11日
社員数 連結	: 77,430人（2022年12月31日現在）
単独	: 22,233人（2022年12月31日現在）
研究所	: 1
事業所・工場	: 12
支社	: 8
海外事務所	: 6（トルコ、中東、台北、ハノイ、ホーチミン、クアラルンプール）

三菱重工グループ

会社数（連結）	: 260社（国内/68社 海外/192社）2022年12月31日時点
受注高（連結/IFRS）	: 40,677億円（2021年4月1日～2022年3月31日）
売上収益（連結/IFRS）	: 38,602億円（2021年4月1日～2022年3月31日）
受注高（単独/日本基準）	: 13,585億円（2021年4月1日～2022年3月31日）
売上高（単独/日本基準）	: 12,334億円（2021年4月1日～2022年3月31日）
事業内容	: エナジー、プラント・インフラ、物流・冷熱・ドライブシステム、 航空・防衛・宇宙

1. 会社紹介

名古屋航空宇宙システム製作所

1920年 三菱内燃機製造株式会社の一工場として発足。
 1956年 名古屋製作所から名古屋航空機製作所として分離独立
 1989年 名古屋誘導推進システム製作所を分離独立
 現在 大江工場、飛島工場、小牧南工場等を擁し、わが国における航空・宇宙産業のリーダーとして、最新鋭の航空機の設計・製作・運用サポートおよび宇宙機器の設計・製作・打上げ輸送サービスを実施しています。
 2006年 民間航空機分野での事業拡大にあわせ、大江工場を拡張して複合材主翼センターを竣工しました。
 2008年 設立された三菱航空機株式会社が開発を進めている次世代リージョナルジェット機MRJ (Mitsubishi Regional Jet) の試作、製造、飛行試験を当所で実施します。



防衛・宇宙セグメント

■三菱重工株式会社
航空機-飛昇体



宇宙



特殊車両



■三菱重工株式会社 ■三菱重工マリタイムシステムズ株式会社
艦船-特殊機械



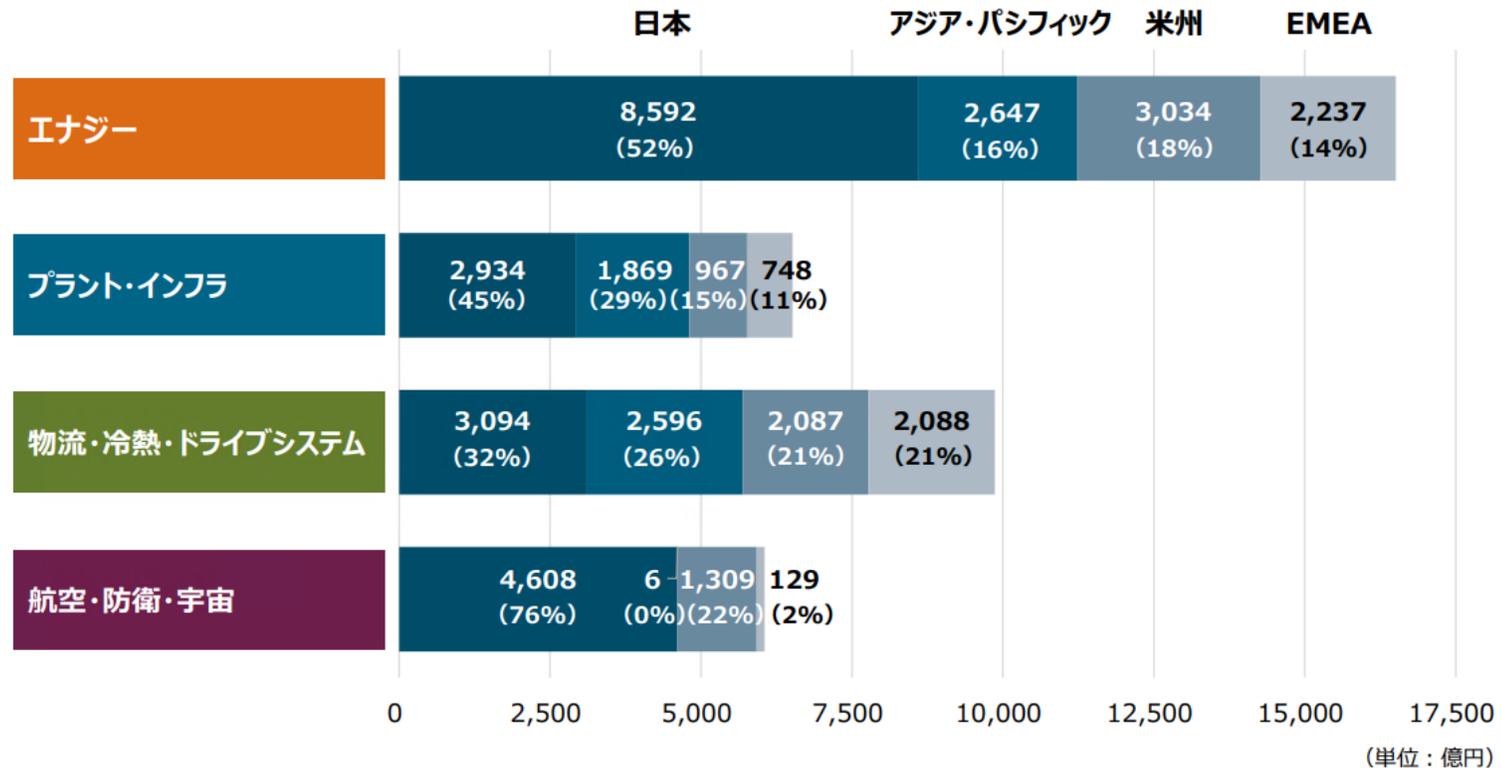
出典：三菱重工グループの製品案内,
https://www.mhi.com/jp/company/aboutmhi/outline/pdf/product_profile.pdf

1. 会社紹介

補足資料 参考データ



2021年度 セグメント/地域別売上高



© Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved.

34

出典：C-Hotline,
https://c-hotline.net/docs/co/arc/DOIM2739/src/dl/mhi220512_1.pdf

1. 自己紹介／会社紹介
2. SEとMBSEの歴史
3. 航空機開発におけるMBSE／Model-Based-Designの適用
4. まとめ

2. SEとMBSEの歴史

MBSEの話をする前に、Systems Engineeringはどのような歴史を辿ってきたのか？

ちょっと調べてみました、話題のchatGPTに「システムズエンジニアリングの歴史について教えて」と問いました！



システムズエンジニアリングの歴史について教えて



システムズエンジニアリングは、複雑なシステムの設計、開発、運用、そして改善を行うための学際的な手法です。システムズエンジニアリングの歴史は、20世紀初頭にまで遡ります。



最初のシステムズエンジニアリングの手法は、航空機産業におけるものでした。1920年代には、アメリカの航空機産業において、航空機設計についての知識が不足していたことから、ボーイング社やダグラス社などの航空機メーカーが、機体やエンジン、航空機の運用についての専門知識を組み合わせ、システムズエンジニアリングの手法を開発しました。

第二次世界大戦中には、システムズエンジニアリングは防衛産業で使用され、航空機や兵器システムの設計において重要な役割を果たしました。

その後、1960年代には、システムズエンジニアリングの手法が他の産業にも広がり始めました。特に、複雑なシステムの設計や開発に携わる産業である宇宙開発や原子力産業において、システムズエンジニアリングの手法が重要視されました。

1980年代に入ると、ソフトウェア産業においてもシステムズエンジニアリングの手法が導入されるようになりました。また、複雑な社会システムや組織の設計についても、システムズエンジニアリングの手法が適用されるようになっていきます。

現在では、システムズエンジニアリングは、様々な産業や分野で広く活用されています。また、システムズエンジニアリングの手法は、より大規模かつ複雑なシステムの設計や開発において、ますます重要性を増しています。

2. SEとMBSEの歴史



Model Based Systems Engineeringの歴史を教えてください



Model Based Systems Engineering (MBSE)は、システムズエンジニアリングの手法の一つであり、従来のドキュメント中心のアプローチからモデルを中心としたアプローチへと進化したものです。

MBSEの歴史は比較的新しく、1990年代に統一モデリング言語 (UML) が登場したことを契機に始まりま

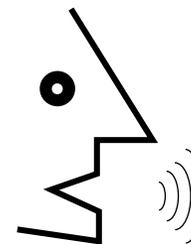
す。UMLは、ソフトウェアエンジニアリングで広く使用されるようになり、システムズエンジニアリングにも応用されるようになりました。2007年には、OMG (Object Management Group)がMBSEのための標準化言語であるSystems Modeling Language (SysML) を発表し、MBSEの普及に大きく貢献しました。

MBSEは、システムの開発ライフサイクル全体にわたってモデルを中心としたアプローチをとることで、開発プロセス全体を効率化することができます。MBSEの採用は、航空宇宙や防衛などの大規模かつ複雑なシステムの開発において、特に効果を発揮しています。最近では、MBSEは自動車や鉄道などの分野でも採用されるようになってきています。

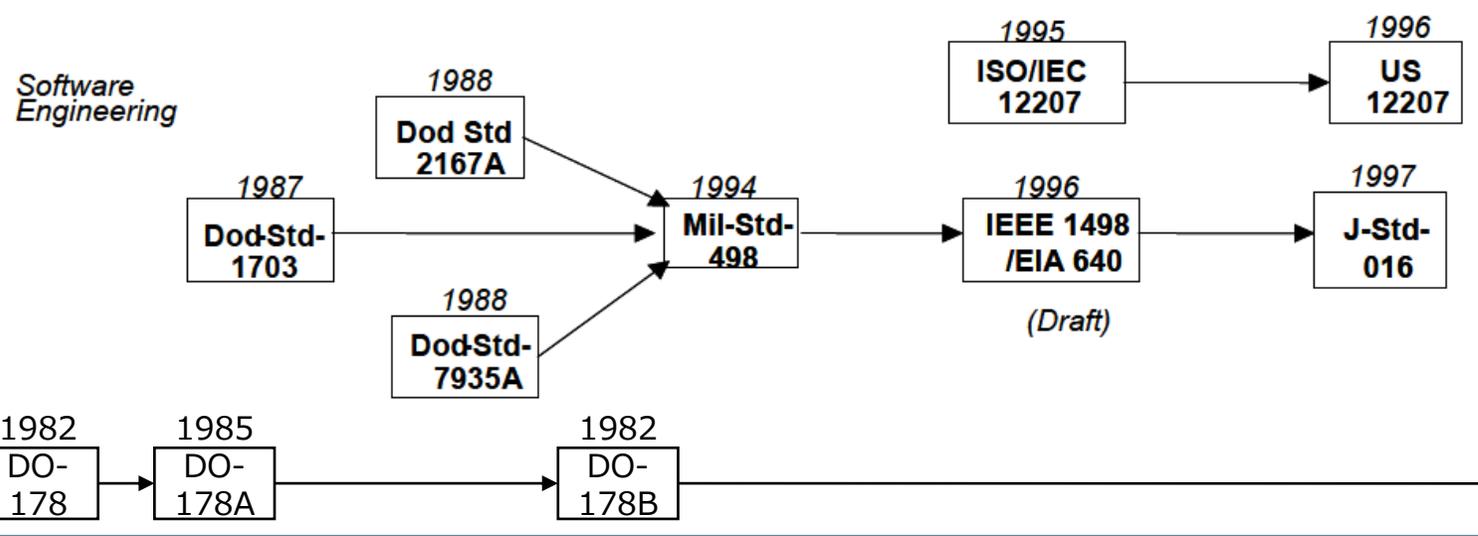
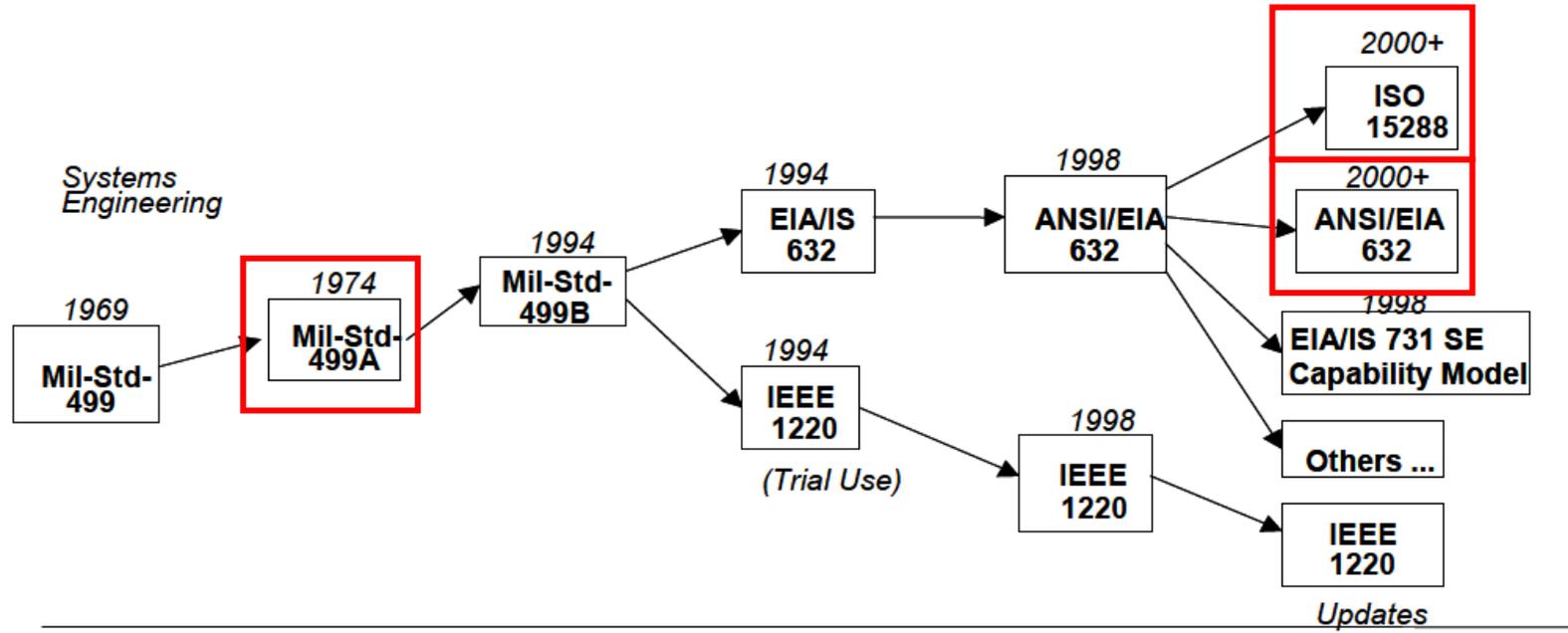
参考文献：

- Friedenthal, S., Moore, A., & Steiner, R. (2014). A practical guide to SysML: The systems modeling language. Morgan Kaufmann.
- INCOSE. (2015). Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities (4th ed.). Wiley.

さらに、「MBSEの歴史について教えてください」と
問いました！

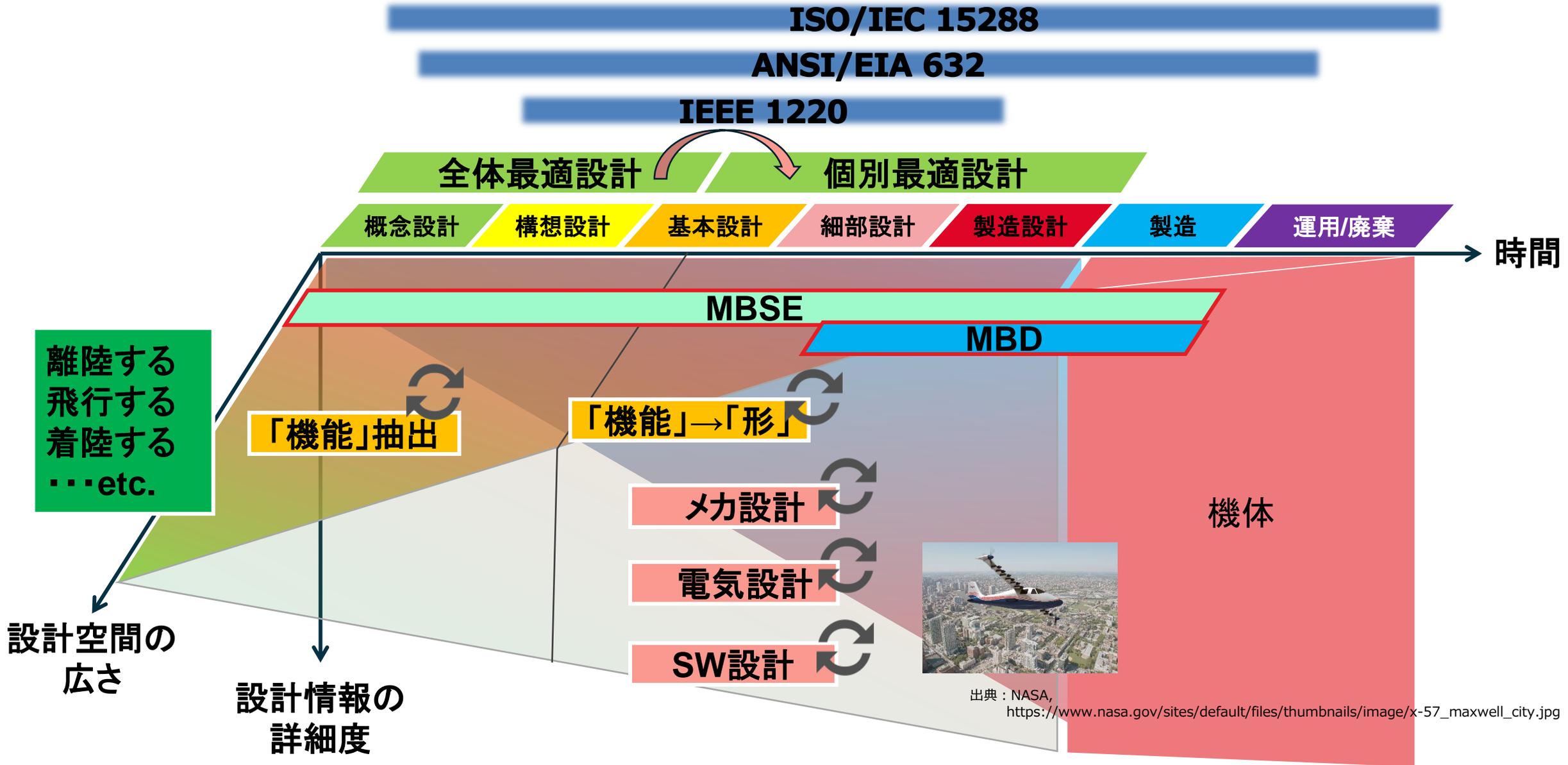


2. SEとMBSEの歴史

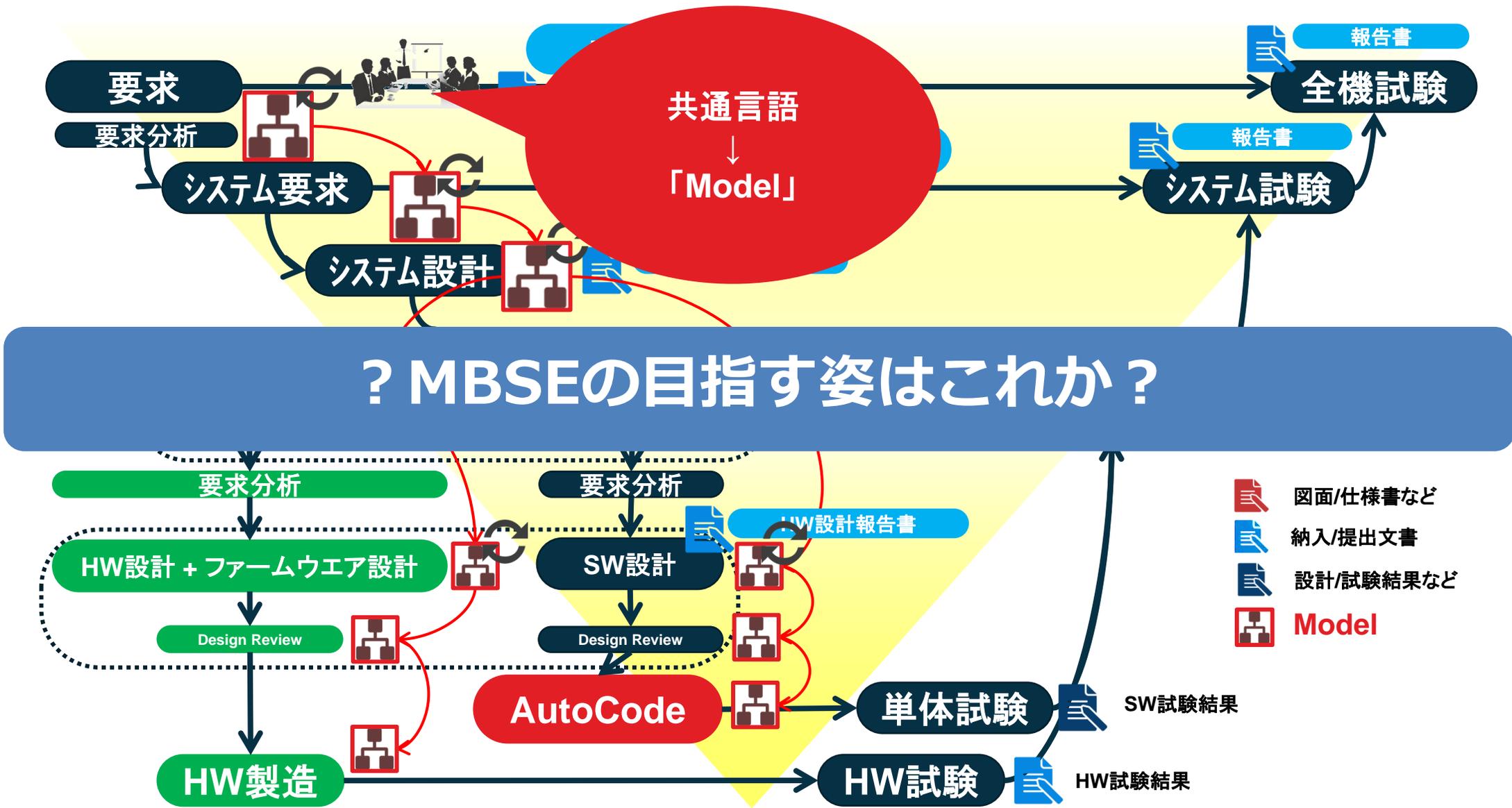


出典：INCOSE SYSTEMS ENGINEERING VISION 2020, INCOSE-TP-2004-004-02, September, 2007

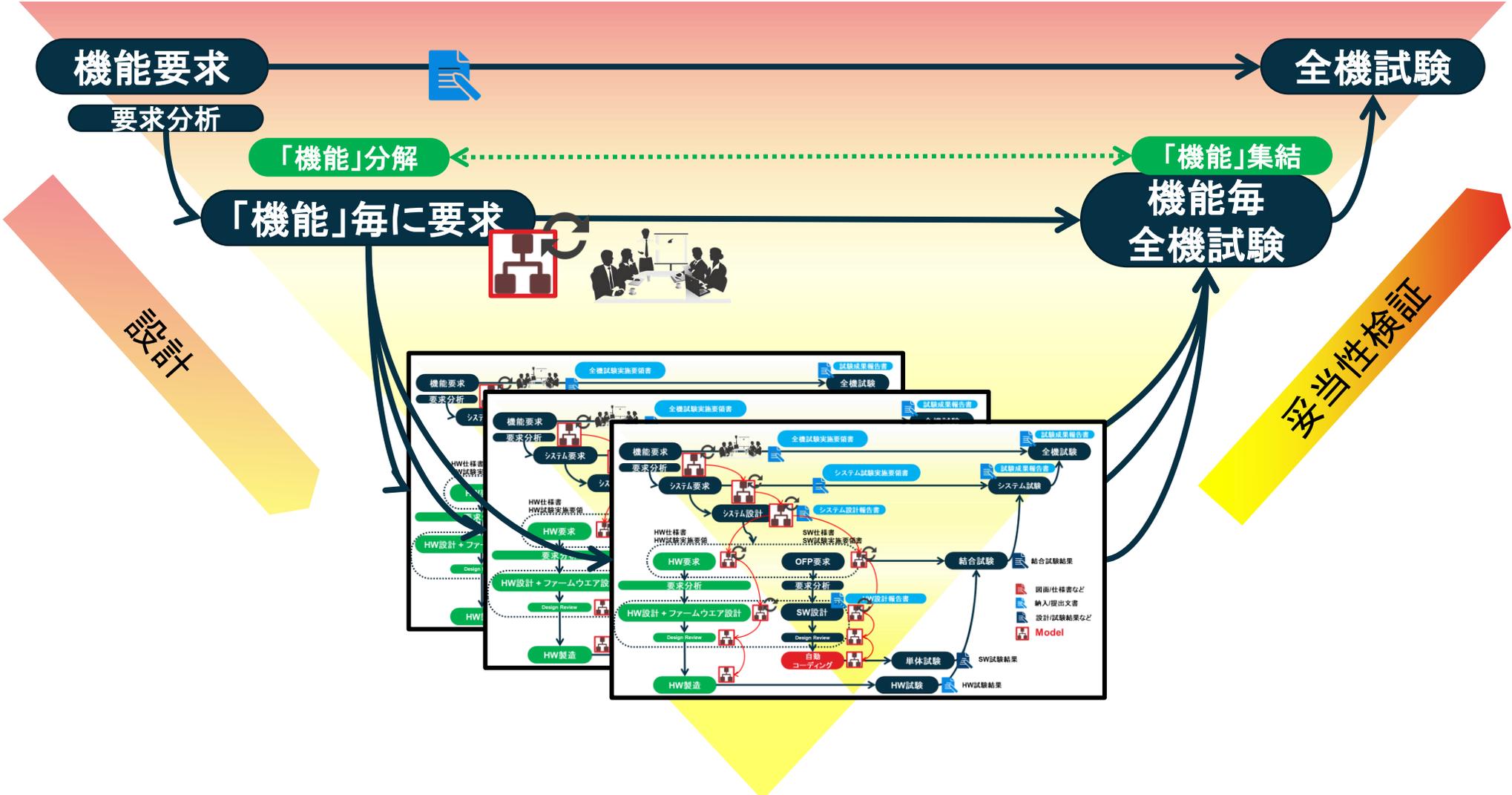
2. SEとMBSEの歴史



2. SEとMBSEの歴史

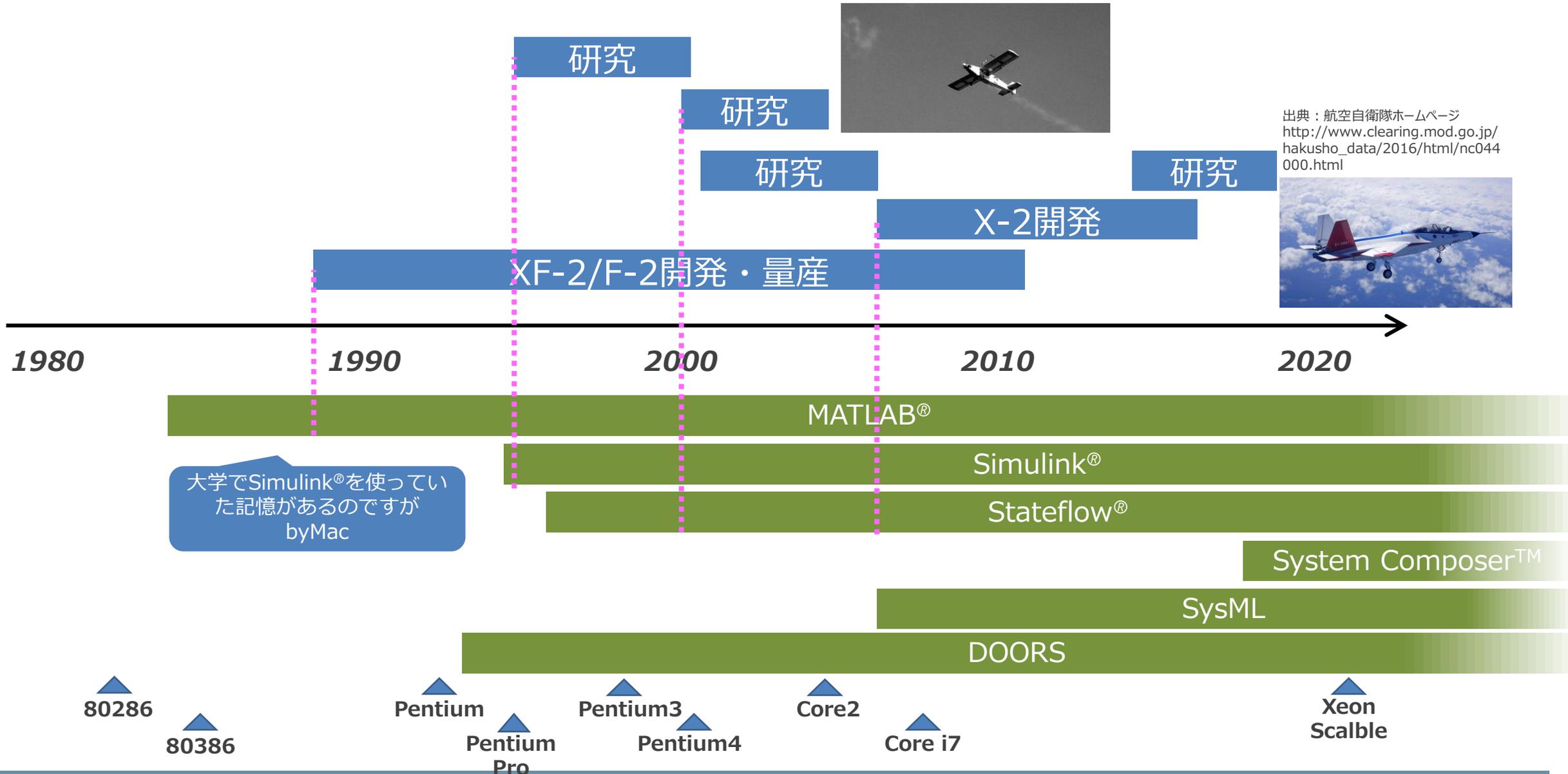


2. SEとMBSEの歴史



1. 自己紹介／会社紹介
2. SEとMBSEの歴史
3. 航空機開発におけるMBSE／Model-Based-Designの適用
4. まとめ

3. 航空機開発におけるMBSE/MBDの適用

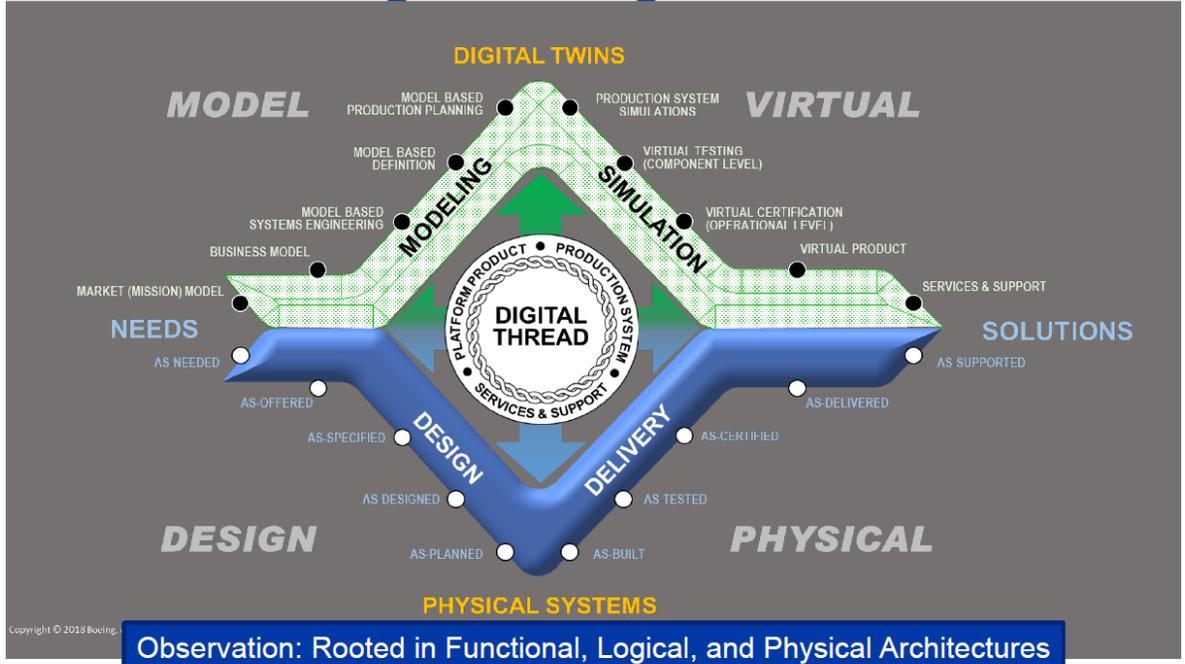


大学でSimulink®を使っていた記憶があるのですが byMac

3. 航空機開発におけるMBSE/MBDの適用

これはBoeingが提唱するデジタル化による開発プロセスを図示したものです。表現方法は色々ありますが、我々が向かうおうとしているところ同じではないでしょうか。

A New Paradigm: Boeing MBE Diamond⁵



Observation: Rooted in Functional, Logical, and Physical Architectures

Copyright © 2018 Boeing. All rights reserved. Robert P. Scheurer 11/15/2018, DE ME MBSE and the Like -- The One Underlying Essential Attribute 12

出典 : GPDIS, https://gpdisonline.com/wp-content/uploads/2018/09/Boeing-DanielSeal-The_System_-Engineering_V_Is_It_Still_Relevant_In_the_Digital_Age-MBSE-Open.pdf

3. 航空機開発におけるMBSE/MBDの適用

要求

全機試験

①要求管理: 抜け漏れの無い「機能」要求の抽出

②性能設計: 性能目標を各「機能」へ割付

③機能設計: 「機能」実現する事前検討

④形状設計: 「機能」実現する形状を設計

⑤性能検証: シミュレーションによる予測

抽出した「機能」要求の検証

設計段階で「機能」要求とのトレーサビリティを持たせて性能・機能・形状設計を実施していることから、**製造/検証段階からの戻り作業を抑制することが可能となる。**



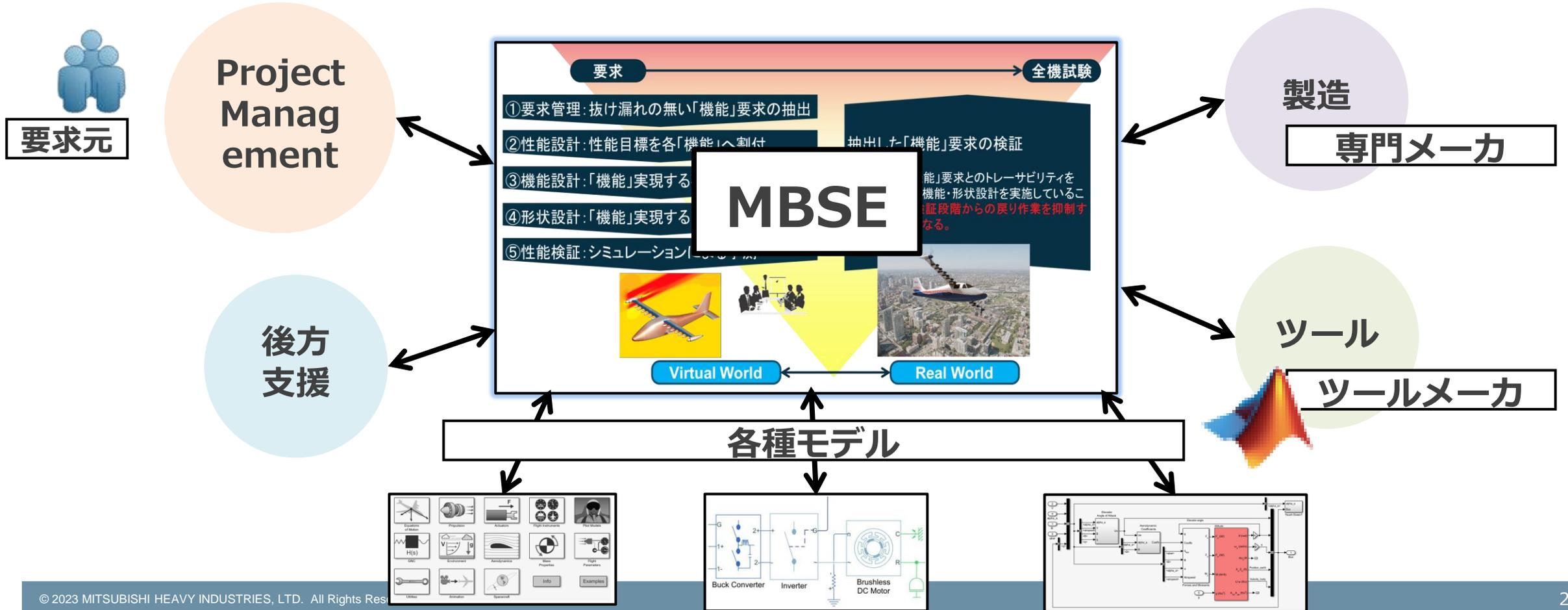
Virtual World

Real World

出典 : NASA, https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/x-57_maxwell_city.jpg
 : NASA, https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/13_duensing_j_sc19_propellerslice_v0_no_label.png

3. 航空機開発におけるMBSE/MBDの適用

(仮に) このようなプロセスとするMBSEを実現していくには、プロジェクト・マネージメント、後方支援、製造との関連も必要でしょう。更に、システム全体でシミュレーションを実施するための各種Modelとツール連携も重要となる。



1. 自己紹介／会社紹介
2. MBSEとSEの歴史
3. 航空機開発におけるMBSE／Model-Based-Designの適用
4. まとめ

4. まとめ

今回のタイトルとした

(特に日本の) 航空機開発におけるMBSE／MBDの適用は進んでいるのか (自問自答)

1. (理想とする) MBSEの適用が当たり前になるのは、まだもう少し先ではないだろうか
2. (恐らく) 各社が個別にModel-Based開発を進めても (きっと) 限界がある
3. (国内外の) 航空機開発に関わるメーカ、そこに関わる全ての人が、MBSEの理解とプロセスの実行、そしてプロセスのデジタル化／Model化を進めていくことが必要
4. シームレスなツール連携も基盤として必要 **(Mathworksに期待！)**

4. まとめ

一人の技術者の見解としては、

「航空機開発におけるMBSE／MBDの適用は進んでいるのか」

は、**道半ば**。

MBSE／MBDを進めていく上では、関係する方々との連携が必須！

MBAC (Model Based Aviation Consortium) は、自動車業界のJMAABをお手本にMathworks Japanを事務局とし、日本の航空機業界におけるMBSE／MBDを推進するユーザ会です。

4. まとめ

MBACについては、

MATLAB EXPO 2021 Japanにおいて紹介をさせて頂きました。2020年1月より正式に発足後、MBSEとMBD推進を行うため各種WGを立上げ活動を行っております。機体メーカーと装備品メーカーが、普及に向けた課題について取り組んでいます。

約2年間の活動を行ってきた中で、例えば、**機体メーカー視点と装備品メーカー視点**から以下の様な点で明確化していく事が必要だと考えられています。

- **MBSE及びMBDへの考え方（工数低減？手戻り低減？双方の誤認識防止？）**
- **モデル精度（粒度）**
- **モデルの受渡方法（情報の秘匿）**
- **モデル間インタフェースの定義**

4. まとめ（宣伝）

MBAC活動の詳細については、本日午後のセッションにおいて

「広がるモデルベースデザイン」

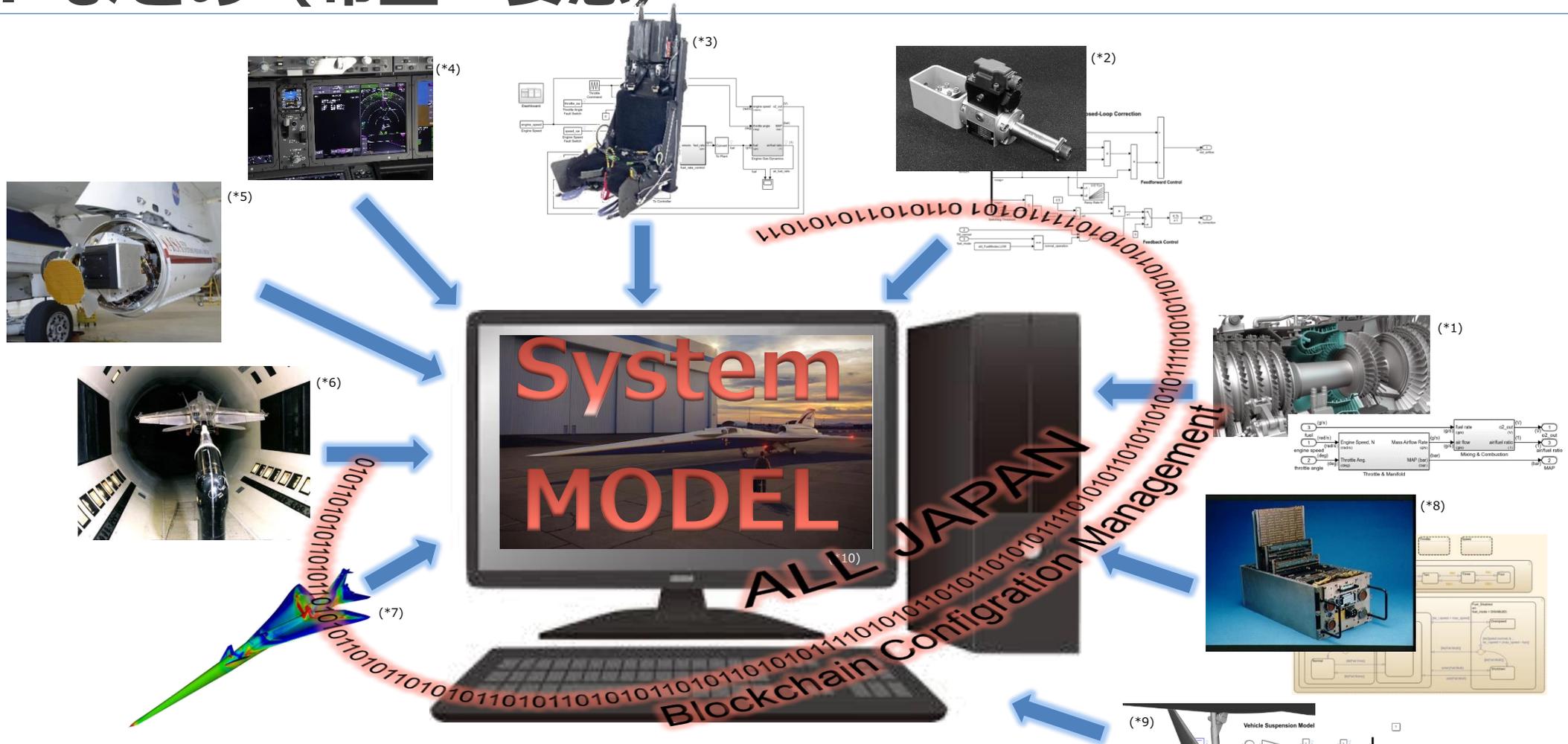
SUBARU梅沢氏より、MBACワーキンググループ活動紹介（13:50）

がございますので、ご興味のある方は是非ご聴講ください。

また、活動・参加に関してご興味のある方は、

Mathworks Japanへご連絡をお願い致します。

4. まとめ (希望・妄想)



出典：
 (*1) NASA, https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/side_view_combustor_3-4_v1_002.png
 (*2) NASA, https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2005/ip_1.html
 (*3) NASA, <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20180007130/downloads/20180007130.pdf?attachment=true>
 (*4) NASA, https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/ecod_sea_chs_efficient_flying_test-4_20bft00095_051_paulweatherman.jpg
 (*5) NASA, <https://www.nasa.gov/centers/dryden/multimedia/imagegallery/F-18Chase/index.html#lowerAccordion-set1-slide6>
 (*6) NASA, <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/tunmodel.html>
 (*7) NASA, <https://www.nas.nasa.gov/SC16/demos/demo10.html#prettyPhoto>
 (*8) NASA, https://www.nasa.gov/images/content/462632main_GPC_upgradedgpcalone.jpg
 (*9) NASA, <https://fun3d.larc.nasa.gov/example-22.html>
 (*10) NASA, <https://www.nasa.gov/press-release/langley/media-invited-to-witness-x-plane-wind-tunnel-test>

