

令和 4 年度産業標準化推進事業委託費
(戦略的国際標準化加速事業：
ルール形成戦略に係る調査研究
(我が国工作機械産業の競争力強化に関する
ルール形成戦略に係る調査))
調査報告書

令和 5 年 2 月 28 日
JFE テクノリサーチ株式会社

目次

1. 調査の背景	5
1-1. 目的	5
1-2. 調査の方法.....	5
(1) DXの促進に向けた計測等の工作機械ユーザーの実態・動向調査.....	5
(2) 工作機械の競争力強化に向けた課題整理	6
(3) ルール形成に向けた戦略ストーリーの仮説構築	6
(4) ヒアリング調査	6
1-3. 調査の実施手順	6
2. DXの促進に向けた計測等の工作機械ユーザーの実態・動向調査	7
2-1. 有識者検討会	7
(1) 委員名簿	7
2-2. 国内ヒアリング	7
(1) ヒアリング調査方針.....	8
(2) ヒアリング調査結果.....	10
2-3. 海外ヒアリング	14
(1) ヒアリング調査方針.....	14
(2) ヒアリング調査結果.....	14
2-4. 寸法公差・幾何公差等整理(規格)	15
(1) 寸法公差、幾何公差の既存規格:ISO、JIS、ASME	15
(2) ISOとASMEの相違点	16
(3) JISのISO対応状況.....	18
3. 工作機械の競争力強化に向けた課題整理	20
3-1. ヒアリングを通して明らかになった課題と取組、難易度	20
(1) 国内ヒアリングより抽出した課題	20
(2) ヒアリングを通して明らかになった課題への取組みのマッピング.....	20
3-2. 設計(川上)と製造(川下)の連携における現状と課題	24
(1) 設計(川上)と製造(川下)のデータ連携に関する課題.....	24
(2) CADデータと川下工程のデジタルツールの連携の課題	25
3-3. DX化	29
(1) DX化の取組みの例	29
(2) DX化で協調可能な領域における取組みの提案	29
3-4. 教育・普及	31

(1)	自動車業界の動向	31
(2)	MBD 推進センター「SURIAWASE2.0」.....	32
(3)	電機業界の動向	32
3-5.	海外の動向・政策.....	33
(1)	MIL STD 31000B.....	33
(2)	NIST MBD/MBE 活動.....	34
(3)	ASME MBE 委員会	35
4.	ルール形成に向けた戦略ストーリーの仮説構築.....	36
4-1.	標準化	36
4-2.	DX 化	37
(1)	協調可能な領域での取り組み.....	37
(2)	工程設計の自動化	37
4-3.	教育・普及	37
5.	参考資料.....	38
5-1.	重要な用語(略語)	38
5-2.	引用文献.....	41

1. 調査の背景

1-1. 目的

我が国の工作機械は、技術力がなす高い精度や耐久性から、世界でトップシェアを争う国際競争力が高い分野であるとともに、ユーザーは自動車、電機・電子、各種産業機械分野など幅広い製造業に及び、各分野の技術の維持向上にも不可欠な産業である。

今後、人口・労働力減少を通じ、我が国の製造現場において高い技術力の基盤となっていた熟練工の減少も想定されることもあいまって、自動化、無人化、効率化、IT(Information Technology)と OT(Operation Technology)の結合、ダイナミック・ケイパビリティの強化等に資する製造現場でのデジタルトランスフォーメーション(DX)の推進ニーズ及びこれを支える工作機械の役割は一層拡大していくことと想定される。また、自動車業界におけるEVシフトに代表されるような工作機械ユーザー業界の構造変化も、工作機械に一層高い品質や多様性を求めることにつながる事が想定される。

こうした、デジタル化等による工作機械ユーザーの生産プロセスの集約・改善も含めた中長期的に求められるニーズに応え、工作機械産業の競争力の維持・強化を図っていくためには、デジタル化に必須かつその基盤となる各種計測データについて、計測方法や評価方法等を整理し、グローバルなルール形成に向けた我が国の工作機械産業としてどのように対応すべきかについて検討を進めていくことが重要である。

以上の観点に立ち、本事業においては、工作機械メーカー・ユーザーの実態・動向を踏まえ、工作機械による加工プロセス及び加工品に対する計測に係る国内外の動向を整理・分析し、将来一層の市場シェア拡大やこれを通じた競争力強化を図るために必要なルール戦略の構築につなげていくことを目的に調査を行う。

1-2. 調査の方法

事業目的を達成するため、以下(1)～(4)に基づき、調査を行う。

(1) DXの促進に向けた計測等の工作機械ユーザーの実態・動向調査

工作機械の主要市場であるアジア・北米・欧州において、主要ユーザーたる自動車業界、電気・電子部品業界、工作機械業界(とりわけ工作機械業界はユーザーとメーカーの両面)等における設計や加工工程のデジタル化や工程合理化・自動化の現状、また、それらを実現するために必要なデータの種類やその計測・評価についての実態、今後の動向を把握し、それらにより工作機械に求められるニーズについて調査を行う。

併せて、ベースとなる寸法公差や幾何公差など既存のISO、JIS、ASME等の国内外の標準について、関係する標準の規定内容を整理する。

(2) 工作機械の競争力強化に向けた課題整理

上記(1)を踏まえつつ、設計工程や加工工程において我が国工作機械産業が競争力を維持・強化していくために必要なデータ計測・評価に関する課題整理を行う。その際、工作機械を単体として捉えるのみならず、関連機器も含めてデジタルツイン等を活用した生産プロセスの効率化・自動化を実現する視点で検討することとし、要素として必要となるデータの種類やその計測及び評価手法のあり方を中心に整理する。

なお、抽出された課題については、競争環境で切磋琢磨していく領域と各社が協調して効率的に取り組んでいく領域についても併せて整理することとする。

(3) ルール形成に向けた戦略ストーリーの仮説構築

上記の整理を基に、主要国の政策や補助金等の支援ツールの観点も含めつつ、政府主導の取組や官民連携によるアドボカシー、民間企業によるクローズドな取組促進等の多面的な視点で、主要機器メーカーとの連携強化や、国際標準の改定、各国での標準化の提案など実態に即した次のステップの取組や維持・拡大できる市場規模について仮説構築を行い、今後の具体的アクションにつなげる。

(4) ヒアリング調査

国内のユーザー・メーカーからのヒアリングを行い、海外の大学関係者へのヒアリングはオンライン等を活用して実施する。

1-3. 調査の実施手順

(1)ユーザー実態調査を行い、(2)その中から課題を抽出し整理し、(3)課題解決となりうる戦略ストーリーの仮説を提案する の順にシリーズに行う。

(1)の調査は「工作機械産業ビジョン 2030」(一般社団法人日本工作機械工業会) [1]を精査し、すでに調べ上げられた論点を明らかにした上で、ヒアリングでその確認、追加すべき事項がないかを調査する

(2)の課題抽出は(1)の結果を基に課題を抽出し、各種解析手法により重要度を判定し、カテゴリー分けをして整理する。有識者検討会で整理結果および(3)に向けた考え方を議論する。

(3)の戦略ストーリーの仮説構築は(2)のカテゴリーごとに課題解決の戦略ストーリーを検討し、結論を有識者検討会に諮り、有効性・抜けがないか等を議論し、それを反映して仮説を提案する。

2. DXの促進に向けた計測等の工作機械ユーザーの実態・動向調査

2-1. 有識者検討会

(1) 委員名簿

本事業の実施および有識者検討会を構成するに当たり、一般社団法人日本工作機械工業会（日工会）の協力を得ることになった。

有識者検討委員を図表 2-1に示す。

図表 2-1 有識者検討会委員名簿

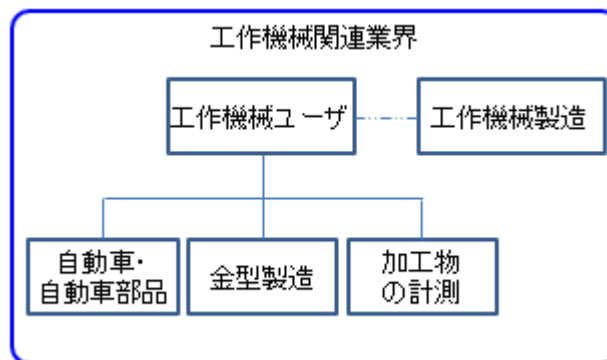
委員長	森 直樹	国立大学法人九州工業大学 大学院工学研究院 機械知能工学研究系 機械工学部門 教授
委員	阿部 誠	(株)ミットヨ 計量標準室管掌 フェロー
委員	田中 文基	国立大学法人北海道大学 情報科学研究院 システム情報科学部門 システム創成学分野 准教授
委員	納谷 敏明	(株)ジェイテクト 工作機械・システム事業本部 先行開発部部长
委員	西田 勇	国立大学法人神戸大学 大学院工学研究科 機械工学専攻 准教授
委員	藤田 祥	(株)牧野フライス製作所 開発本部 副本部長
委員	山本 隆邦	(株)ミットヨ 顧問
委員	渡邊 正輝	ブラザー工業(株) マシナリー事業産業機器開発部 GM

2-2. 国内ヒアリング

ターゲット業界として、代表的な工作機械ユーザー企業および工作機械メーカーについて国内ヒアリングを実施した。

- 代表的な工作機械ユーザー企業
 - 自動車、自動車部品
 - 電機部品、金型製造
 - 加工物の計測
- 工作機械メーカー

図表 2-2 工作機械関連業界への国内ヒアリングのスコープ



有識者検討会において 5 社に、ヒアリングを行った。これに加えて、4社に同様のヒアリングを行った。図表 2-3にヒアリング先企業の属性を示す。

図表 2-3 ヒアリング先企業

会社	メーカー	サプライヤー	自動車	電機・金型	工作機械	計測
A社	○		○			
B社			○			
C社	○	○	○			
D社		○	○			
E社	○			○	○	
F社	○					○
G社	○	○		○		
H社	○				○	
I社	○	○			○	

(1) ヒアリング調査方針

ヒアリングを開始するにあたり、次の論点を中心にヒアリングを行った。

Digital Transformation (DX)で、**目指すものづくり**

1. 試作のミニマム化<スピーディーな商品開発>
 1. 失敗の少ない試作
 2. 試作回数の削減
2. 迅速な工程立上げ<工程設計>
 1. 最適シミュレーション
3. 生産変動に強い<ものづくり>
 1. 熟練工のキャパがボトルネックにならない
 2. 属人技能の形式知化
4. 不良が出ない<ものづくり>…《組立後の不良発生防止》
5. 不良発生の抽出と管理の仕組みづくり
 1. 幾何公差累積の検証と対策及び公差の再設定

《ものづくりの一气通貫 DX 構想》

ヒアリング開始時点で念頭に置いた課題は次のような視点である。

【《ものづくりの一气通貫 DX 構想実現に向けて》の課題】

- 1) 寸法公差中心のものづくりが多く、技能工の能力に依存
- 2) 幾何公差の普及活動の中で、幾何公差を記入することが重要視され、公差設計の意味が軽視
- 3) 工程設計のノウハウは現場に2D 図面を活用して蓄積
- 4) 測定戦略の作成は技能スキル依存(不確かさと測定の目的について整備が必要)

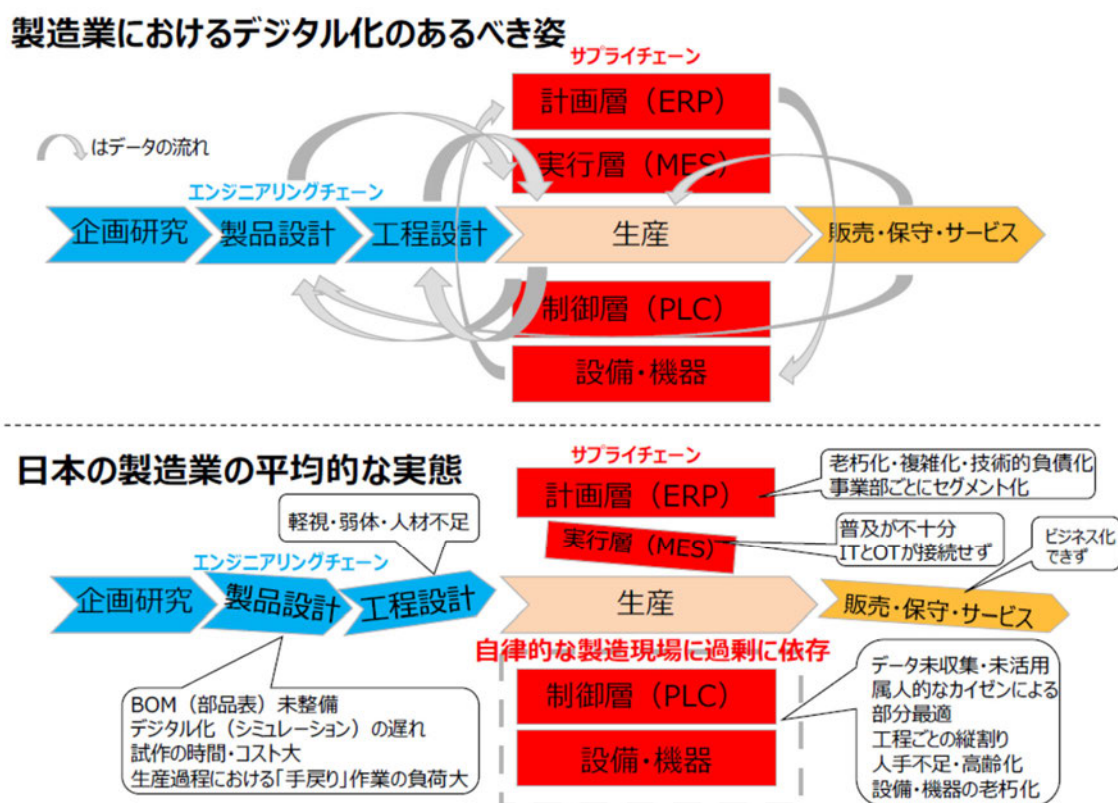
・ 矛盾の多い図面
・ 記入方法が多彩、過剰な記入

コストアップ

本調査事業におけるデジタル化の観点は、経済産業省「製造業を巡る動向と今後の課題」[2]

より引用の図表 2-4に示した、エンジニアリングチェーン間でのデータ連携である。本事業ではこのエンジニアリングチェーンを詳細にした図表 2-5に基づき検討を行った。

図表 2-4 製造業におけるデジタル化のあるべき姿と平均的な実態



出典:第 9 回産業構造審議会製造産業分科会「製造業を巡る動向と今後の課題」(21年9月 経済産業省) [2]

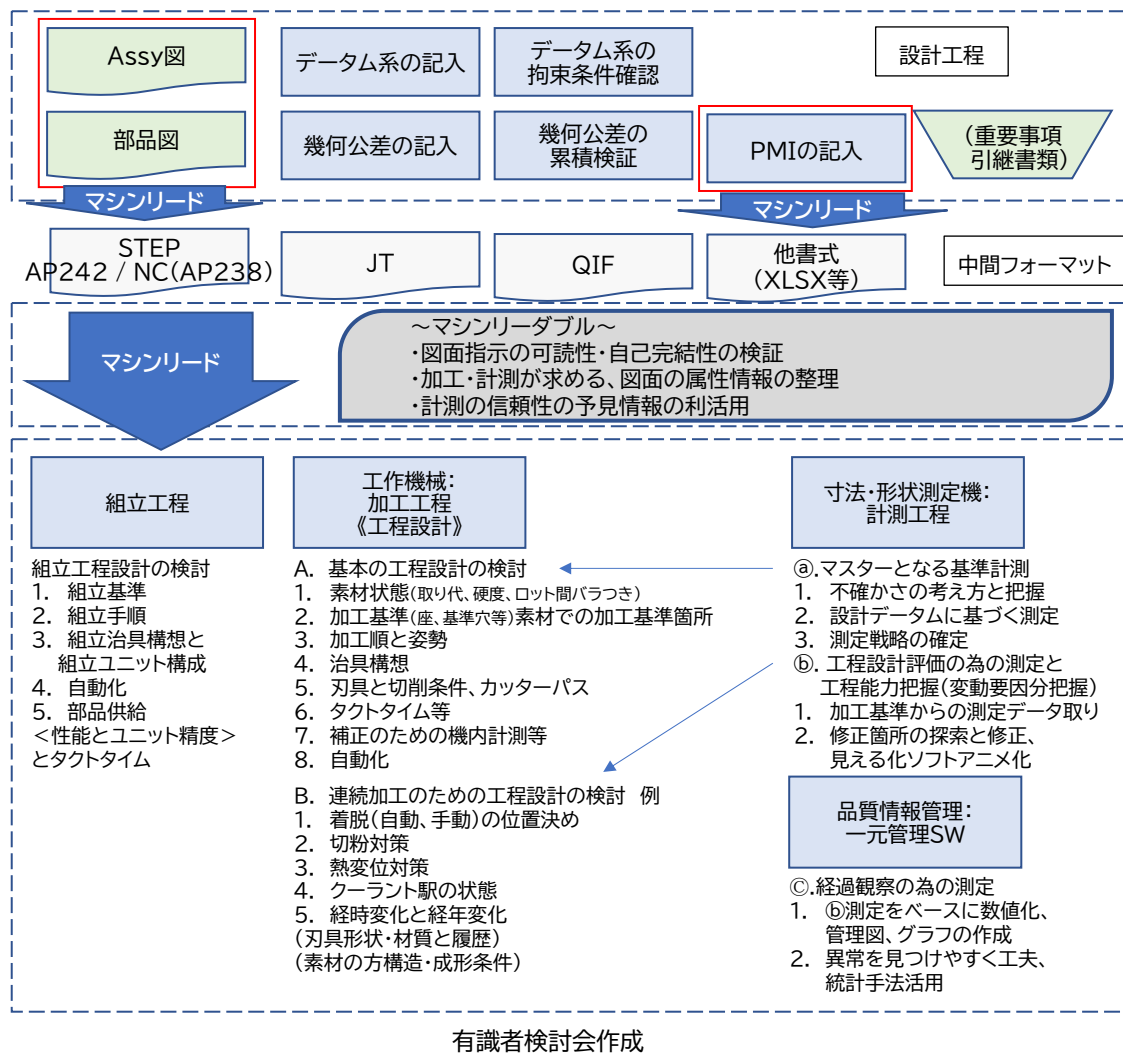
図表 2-5 本事業での検討におけるエンジニアリングチェーンの詳細工程



エンジニアリングチェーンの中での設計データの流れを調査し図表 2-7に整理した。設計工程で作成された設計図面(CAD)データは、加工や検査など各工程に必要なプログラムに変換するソフトウェアに伝達される。量産前の試作プロセスに当たるテスト加工ではCAM、検査・計測ではCATといったソフトウェアを通じて、設計図面から加工プログラム等に変換するが、まずCADデータを各工程に伝達する際には、STEP(Standard for the Exchange of Product Data)やQIF(Quality Information Framework)といった「中間フォーマット」と呼ばれるファイル形式を経ることについては標準化が進んでいる。

他方、加工や検査などのプロセスにおいては、CAD データだけでは必要十分な情報が揃っていないこと等から、実態として加工プログラム等への変換には、技術者の人手によるプログラムの構築や調整が必要となっている。最適プログラムを自動的に構築できる「マシンリーダブル」な状態にするには、CAD データそのものの精緻化や公差情報の付加などに加えて、例えば機械や工具の特性や作業環境など、各工程で必要な情報を整理した上で、CAD データとの連携の在り方を検討する必要がある。

図表 2-6 エンジニアリングチェーンにおける設計データの流れ

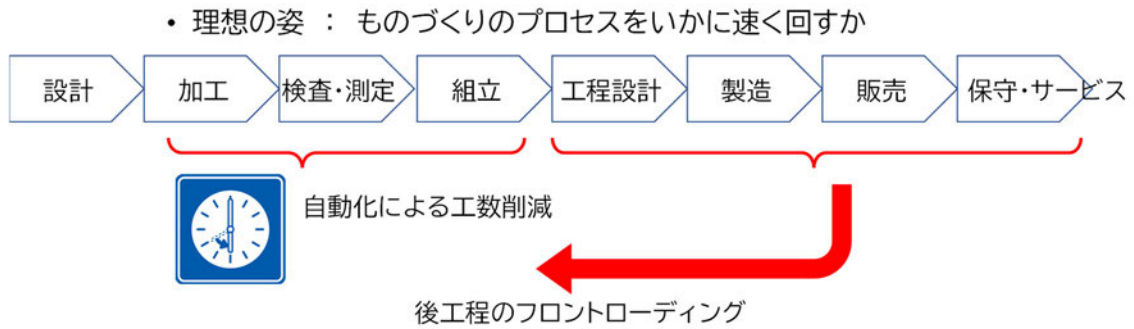


(2) ヒアリング調査結果

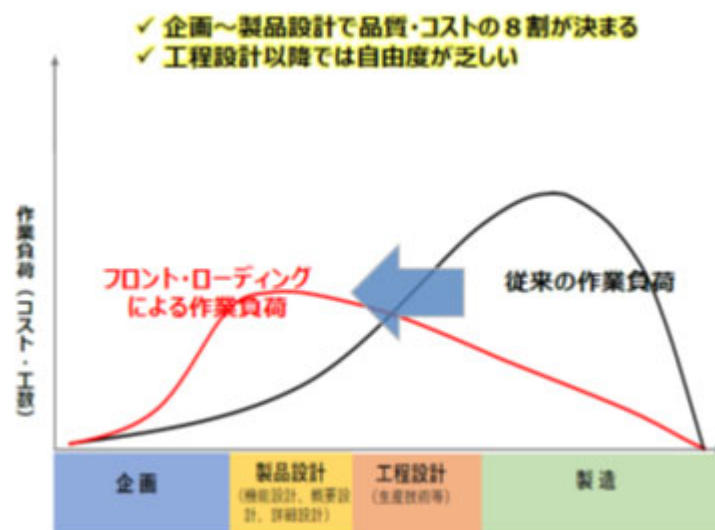
(2-1) 試作のミニマム化<スピーディーな商品開発>

- ・ ユニット製品受注後の量産までの期間 従来の 40~34 カ月 ⇒ 20 カ月に短縮
- ・ 設計と製造と調達とのサイマル活動 フロントローディング(図表 2-7)
試作工数削減(図表 2-8) 機能分析と FMEA 活用
- ・ 設計と製造と外注とのコミュニケーションツールとして、3DACAD(3D annotated CAD)の活用課題 一気通貫の模索
- ・ 社内試作と社外試作減対策として、3DACAD の活用が特に重要。
- ・ 原理試作、先行開発、量産開発の手順の中で、標準化の活用
- ・ コンカレントエンジニアリングの強みを生かし、DX で強化

図表 2-7 モノづくりのプロセスとスピード化



図表 2-8 フロントローディングによる作業負荷の軽減



出典: 第8回産業構造審議会製造産業分科会「製造業を巡る動向と今後の課題」(20年6月経済産業省) [3]

(2-2) 迅速な工程立上げ＜工程設計工数減＞

- 上記のスピーディー化の一環として、PFMEA (Process Failure Mode and Effect Analysis)の活用
- 工法開発とライン設計に対して、3DACAD との連携で DTPD (Digital Technical Product Documentation) 作り
- 工程設計の評価に対して、測定データの活用
- DTPD 作成…ノウハウの集約（出戻りの少ない、不良 0 のライン）
- エンジニアリングチェーン軸に DX 活動の位置づけ
試作 DX 生産準備 DX 工場 DX と分類
- 生準のコンカレントエンジニアリングにて、フロントローディング
- 生準の調票記入が基本であるが、今後デジタルにどうつなげ、3DACAD に埋め込むか？
現在の調票記入が企業の競争力

工程表＝工程系統図＋工程管理明細表がノウハウ集

今後はそれをデジタルにつなげ、使い倒せるかが企業競争力

- 綿密で手戻りのないコミュニケーション手段として、DX を考えたいが、課題は外注との連携
例）3 DACAD として外注展開するが、PMI (Product Manufacturing Information) 等が抜け落ちる
- 外注を含めた 3DACAD を MBE (Model Based Enterprise) に進化させ、実証が必要
- 海外の EV (Electric Vehicle) の開発・製造では部品のモジュール化が進み、電気製品の製造のようになってきており、非常に動きが速く、これに対応・対抗できるようにならないといけない

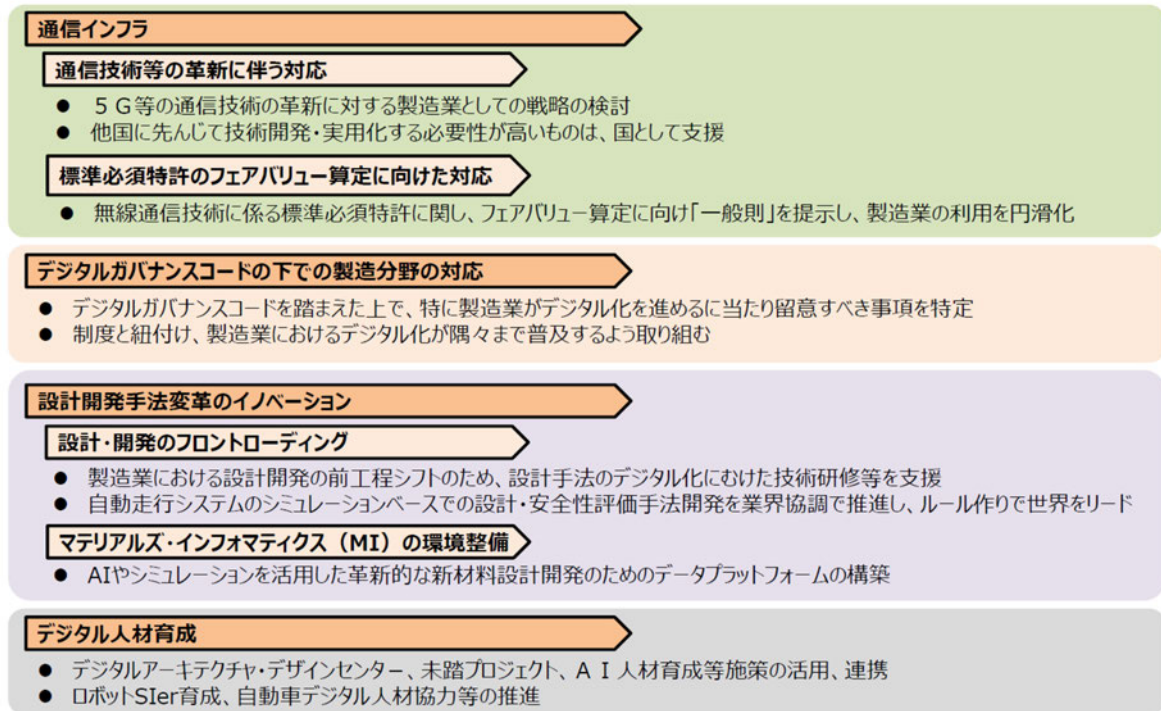
(2-3) 生産変動に強いモノづくり

- 海外拠点とのデータコミュニケーションに課題有、どの拠点でも製造できる体制
- EV 商品の変動性は家電商品の様である
- 設計、製造の標準データベースづくりが必要
- 汎用性の高い設備(例 5軸マシニングセンタ)に対する加工上のデータベースを作り込み、生産変動に強い設備が必要(刃具、治具等とセットの DB)
- CAM に工具 DB・加工 DB を持ち、それがビジネスノウハウになるというようなシステム

第 9 回産業構造審議会 製造産業分科会「製造業を巡る動向と今後の課題」[2]から抜粋した図表 2-9では設計開発手法改革のイノベーションとして、「設計・開発のフロントローディング」と「マテリアルズ・インフォマティクス(MI)の環境整備」が挙げられている。工作機械を使用する現場・工場においては、使用する工作機械の種別、使用する工具、加工の条件、加工する材料の特性などの条件をデータベース化し、最適な選択を行う技術も競争力強化につながると考えられる。

図表 2-9 製造業のデジタル化支援の方向性

政策課題（１）企業変革力の強化に資するデジタル・トランスフォーメーションの推進
製造業のデジタル化支援の方向性



出典：第 8 回産業構造審議会製造産業分科会「製造業を巡る動向と今後の課題」（20 年 6 月経済産業省）[3]

（2-4）不良が出ないモノづくり

- 幾何公差の見直しできる体制（社内での部品公差では OK、ユニットでは NG がある）
- 工程設計と製造現場から PFMEA 活動
- 設計FMEA、工程FMEAをデジタルで行う
- 従来の FMEA（ドイツ）にないシステムティックな故障分析を実現する品管管理ツール

（2-5）金型製造の課題

金型製造を得意とする企業では、金型製造の特殊性に起因する課題があった。これらについては3-2(2)CAD データと川下工程のデジタルツールの連携の課題で後述する。

（2-6）半導体関連の情報

半導体関連装置の製造を行っている企業に、半導体関連装置における3DA データ、幾何公差等活用状況について聞いた。

- 基本的に前工程よりの機械構造部分を担当しており、プローバー（検査装置）などの XYZ3 軸の位置決め装置の製造等である。機械技術者の設計の範疇である。
- 図面での幾何公差等の使い方について、工作機械業界の状況と特に大きな違いは感じられない。
- 半導体関連製造装置はいろいろな種類の会社がやっており、ロボット関連、搬送装置関連の企業が携わっている場合も多い。

- OEM での図面管理の状況がどうなっているかはわからない。

2-3. 海外ヒアリング

(1) ヒアリング調査方針

次の方針でヒアリングを行った。

- 製品開発・商品化のスピードが急激に早くなっており、そのために情報のデジタル化が求められていることは疑う余地がなく、世界的に Digital Transformation(DX)が進められていると考えている。
- 日本でも製造ラインの DX が盛んに取り組まれているが、本調査では製品の新規製造など、量産体制の立ち上げの効率化を主なターゲットとしている。
- 自動車・電気製品などの開発・製品化においては、最終製品の全体設計と部品設計をサプライヤーと協業・分業で行うケースが多くあり、量産に至るまでの間に多くの情報のやり取りが発生する。日本以外ではどんな取組を行っているか、デジタル化で有効な取組があるかが知りたい。

(2) ヒアリング調査結果

米国およびドイツの大学教授各 1 名にヒアリングを行った。前者は工作機械加工関係、後者は自動車生産技術に詳しい。

(2-1) 試作のミニマム化<スピーディーな商品開発>

- 設計ツールを使用してバーチャルで試験をシミュレーションすることで、いずれかの工程でミスが発生する可能性を事前に抽出でき、そこにかかっていた時間を短縮できるようになった。

(2-2) 迅速な工程立上げ<工程設計工数減>

- 受注から量産までの期間はこれから短縮されるであろう。
- 自動車の製造ラインのように数百台の規模の設備が並ぶラインになると購入・テスト・調整まで 1 年かかることもある。規模、ロットサイズ、部品の複雑さにもより異なる。
- 現在では設計ツールを使い、以前 1 年かかった製造ライン製作を 1 か月程度に短縮も可能になっている。

(2-3) 不良が出ないモノづくり

- ほとんどすべてデジタル設計図の企業では、デジタルツイン、シミュレーションなどで試作を全く省くことができた企業もある。

(2-4) デジタル化のトレンド

- 大企業は AI を使い、デジタル化を意欲的に進められるであろうが、中小企業はリソース不足で対応ができず、二極化が進んでいる。
- 全てのデジタル化が必要という印象があるが、コストもかかることであり、すべてをデジタル化する必要はないという意見もあった。
- 工作機械のサブスク化の流れもあり、デジタル化が進むような例もある。

(2-5) 3D・3DA データ、幾何公差などの活用

- 大規模な製造企業では、設計モデルはほぼすべてデジタル化されている。
- 設計の更新の必要がないレガシーモデルは現存しており、2D 設計が残っているところも

- あるだろう。
- しかし、新規に設計する場合にはデジタル化が進むであろう。

2-4. 寸法公差・幾何公差等整理(規格)

DXの促進に向けた計測等のベースとなる寸法公差や幾何公差など既存のISO、JIS、ASMEの国内外の標準について、関係する標準の規定内容を整理する。

ISOにより規格化された「GPS(Geometrical Product Specifications)(幾何特性仕様)」が「JIS B0021:製品の幾何特性仕様(GPS)－幾何公差表示方式－形状、姿勢、位置及び振れの公差表示方式」など JIS に反映されている。それ以前に使われていた「寸法」が「サイズ」とされ、公差に関して、「サイズ公差」に加え、「幾何公差」(「形状公差」(真直度、平面度など)、[姿勢公差](平行度、垂直度等)、[位置公差](位置度、同心度等)) の概念が加わっている。さらに測定という行為を考えたばらつきの概念が導入されるなどしている。

GPS の導入は ISO が先行しており、JIS への反映がどこまで完了しているかなどを明らかにする。

また ASME では「包絡原理」採用されている、記号が違うなど、ISO/JIS との違いがあり、これらを明らかにする。

(1) 寸法公差、幾何公差の既存規格:ISO、JIS、ASME

【既存規格の特徴】

- JIS:ISO を基本に規定を作成。ISO 改訂に遅れる場合あり。
- ISO:複数の規定によって、寸法と公差を規定する。
- ASME:寸法と公差に関する規定を体系的に1つにまとめた。

図表 2-10 寸法公差、幾何公差の主な既存規格

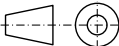
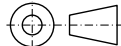
	JIS	国際 整合性	ISO	ASME
基本 原則	JISB0024(製品の幾何特性仕様 (GPS)－基本原則－GPS指示に 関わる概念, 原則及び規則)	MOD	ISO 8015(GPS の基本規則)	ASME Y14.5- 2018(寸法およ び公差記入法)
幾何公差	JISB0021(製品の幾何特性仕様 (GPS)－幾何公差表示方式－形 状, 姿勢, 位置及び振れの公差表示 方式)	IDT	ISO 1101(GPS 描画記号と使用 規則)	
	JISB0621(幾何偏差の定義及び 表示)	MOD		
普通公差	JISB0405(普通公差－第1部: 個々に公差の指示がない長さ寸法 及び角度寸法に対する公差)	IDT	旧 ISO 2768-1&-2(幾何学的 製品仕様(GPS))	
	JISB0419(普通公差－第2部: 個々に公差の指示がない形体に対 する幾何公差)	IDT	ISO 22081(幾何学的製品仕様 (GPS)-幾何学的公差-一般的な 幾何学的仕様および一般的なサイ ズ仕様)	

注:IDT(一致;Identical)、MOD(修正;Modified)

(2) ISOとASMEの相違点

ISOとASMEの相違点を図表 2-11～図表 2-14に整理する。ISOでは対象とする部品検査をASMEでは規定されておらず、ISOではサイズ公差と幾何公差を独立した指示(独立の原則)とすることに対し、ASMEではサイズ公差指示が幾何公差指示を兼ねる場合(包絡原理)があるなど、いくつかの点で相違がある。

図表 2-11 ISOとASMEの相違点(1):対象、基本的な考え方、
文献 [4]を参考に JFE テクノリサーチで編集

主な相違点	ISO	ASME Y14.5
規格対象	部品の形状、検査、等級、公差	部品形状のみ、部品検査を含まず
公差間の独立性	独立の原則(ISO 8015):指示しているサイズ公差と幾何公差は、それぞれ独立した指示として扱う。 ⇒形状偏差は、幾何公差で規制し、サイズ公差に規制されない。	包絡原理(ASME Y14.5 2.7.1):規則的なサイズ形体の形状は、許容限界寸法によって規制される。 ⇒サイズ公差指示が幾何公差指示を兼ねる。
形状を制御するサイズ設定	ISO 14405による 	記号無
形状に独立したサイズ設定	形状はサイズに依存せず。記号無	
推奨投影法	第1角 	第3角 

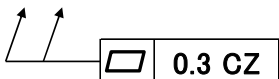
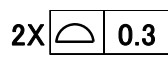
図表 2-12 ISOとASMEの相違点(2):位置公差

文献 2)を参考に JFE テクノリサーチで編集

主な相違点	ISO	ASME Y14.5
位置度	サイズ形体 (Feature of Size:FOS) または表面に適用	サイズ形体 (Feature of Size:FOS) にのみ適用、複合位置も異なる
対称度	・対称面の測得中心面は、中央のデーラム平面と等しい側にある一対の平行平面で構成される公差域内にいることが必要。 ・RFS、MMC、LMCに適用できる。	・ASME Y14.5-2009では、対称面の正反対側の理論的に導いた中点は、中央のデーラム平面と等しい側にある一対の平行平面で構成される公差域内にいることが必要。 ・実体公差を使わない (Regardless of Feature Size:RFS) 場合にのみ適用。 →2018では対称度は削除。
同心度	・測得中心線は断面のすべての中心点から形成され、デーラム軸によって定義された円柱公差域内に収まる必要があることが必要。 ・RFS、MMC、LMCに適用できる。 ・2D断面(同心度)に適用できる。 ・3D軸(同軸度)に適用できる。	・ASME Y14.5-2009では、対称面の正反対側の理論的に導いた中点は、中央のデーラム平面と等しい側にある一対の平行平面で構成される公差域内にいることが必要。 ・実体公差を使わない (Regardless of Feature Size:RFS) 場合にのみ適用。 ・3Dオブジェクトにのみ適用。 →2018では同心度は削除。

図表 2-13 ISOとASMEの相違点(3):標記方法

文献 2)を参考に JFE テクノリサーチで編集

主な相違点	ISO	ASME Y14.5																																				
表面の 共平面性 の指定	「平面度」記号を使用し、共通面の数を 示し、公差記入枠にCZ(Common Zone: 共通公差域)を記入する。 	「面の輪郭度」記号を使用し、共通面 の数を示す。 																																				
位置および形状公差に 対する 複合と 複数-単一セグメント の概念	どちらの公差記入枠も、位置と姿勢を 指定する。 <table border="1" data-bbox="557 1554 900 1655"><tr><td>$\varnothing$</td><td>$\phi 0.5$</td><td>M</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr><tr><td>$\varnothing$</td><td>$\phi 0.3$</td><td>M</td><td>A</td><td>B</td><td></td></tr></table> ・複合でも、複数-単一セグメントでも 意味は同じ。	$\varnothing$	$\phi 0.5$	M	A	B	C	$\varnothing$	$\phi 0.3$	M	A	B		・複数-単一セグメント: 両方の公差記入 枠も、位置と姿勢を指定する。 <table border="1" data-bbox="956 1554 1297 1655"><tr><td>$\varnothing$</td><td>$\phi 0.5$</td><td>M</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr><tr><td>$\varnothing$</td><td>$\phi 0.3$</td><td>M</td><td>A</td><td>B</td><td></td></tr></table> ・複合: 下側の公差記入枠は姿勢のみを 指定し、位置は指定しない。 <table border="1" data-bbox="956 1778 1297 1879"><tr><td>$\varnothing$</td><td>$\phi 0.5$</td><td>M</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr><tr><td></td><td>$\phi 0.3$</td><td>M</td><td>A</td><td>B</td><td></td></tr></table>	$\varnothing$	$\phi 0.5$	M	A	B	C	$\varnothing$	$\phi 0.3$	M	A	B		$\varnothing$	$\phi 0.5$	M	A	B	C		$\phi 0.3$	M	A	B	
$\varnothing$	$\phi 0.5$	M	A	B	C																																	
$\varnothing$	$\phi 0.3$	M	A	B																																		
$\varnothing$	$\phi 0.5$	M	A	B	C																																	
$\varnothing$	$\phi 0.3$	M	A	B																																		
$\varnothing$	$\phi 0.5$	M	A	B	C																																	
	$\phi 0.3$	M	A	B																																		

図表 2-14 ISOとASMEの相違点(4):ASME固有の記号

文献 1)～3)を参考、JFEテクノロジーサーチで編集

主な相違点	ISO	ASME Y14.5
不当分配分の輪郭	「UZ」で示す。	
最大実体境界	記号無	
最小実体境界	記号無	
接平面	記号無	
連続形体	記号無	
統計的公差	記号無	
デーラム平行移動	記号無	
可動デーラムターゲット	記号無	
深座ぐり	記号無:ノートに記載	
浅座ぐり	記号無:ノートに記載	
さら座ぐり	記号無:表面に寸法、角度を記載	
深さ	記号無:ノートに記載	

(3) JISのISO対応状況

主なJISのISO対応状況を図表 2-15に示す。JISに対応するISO及び最新ISOを併記した。ISOをベースにJISを作成することが多く、ISOの改訂と、JISの改訂に時間差が生じる場合が散見される。

図表 2-15 JIS の ISO 対応状況

	JIS: 番号	名称	対応ISO	最新ISO	備考
寸法	JISB0401-1:2016	製品の幾何特性仕様(GPS)－長さに関するサイズ公差のISOコード方式－第1部: サイズ公差、サイズ差及びはめあいの基礎	ISO286-1:2010, Cor.1:2013(IDT)	2010	
	JISB0401-2:2016	製品の幾何特性仕様(GPS)－長さに関するサイズ公差のISOコード方式－第2部: 穴及び軸の許容差並びに基本サイズ公差クラスの表	ISO286-2:2010, Cor.1:2013(IDT)	2010	
	JISB0403:1995	鋳造品－寸法公差方式及び削り代方式	ISO8062:1994(MOD)	1994	
	JISB0405:1991	普通公差－第1部:個々に公差の指示がない長さ寸法及び角度寸法に対する公差	ISO2768-1:1989(IDT)	1989	普通公差
	JISB0420-1:2016	製品の幾何特性仕様(GPS)－寸法の公差表示方式－第1部:長さに関するサイズ	ISO14405-1:2010(MOD)	2016	
	JISB0420-2:2020	製品の幾何特性仕様(GPS)－寸法の公差表示方式－第2部:長さ又は角度に関するサイズ以外の寸法	ISO14405-2:2018(MOD)	2018	
	JISB0420-3:2020	製品の幾何特性仕様(GPS)－寸法の公差表示方式－第3部:角度に関するサイズ	ISO14405-3:2016(MOD)	2016	
製品の幾何特性仕様	JISB0021:1998	製品の幾何特性仕様(GPS)－幾何公差表示方式－形状、姿勢、位置及び振れの公差表示方式	ISO/DIS1101:1998(IDT)	2017	幾何公差
	JISB0022:1984	幾何公差のためのデータム	ISO5459:1981(MOD)	2011	
	JISB0023:1996	製図－幾何公差表示方式－最大実体公差方式及び最小実体公差方式	ISO2692:1988,Amd.1:1992(IDT)	2021	
	JISB0024:2019	製品の幾何特性仕様(GPS)－基本原則－GPS指示に関する概念、原則及び規則	ISO8015:2011(MOD)	2011	基本原則
	JISB0025:1998	製図－幾何公差表示方式－位置度公差方式	ISO/DIS5458:1994(IDT)	2018	
	JISB0026:1998	製図－寸法及び公差の表示方式－非剛性部品	ISO10579:1993(IDT)	2010	
	JISB0027:2000	製図－輪郭の寸法及び公差の表示方式	ISO1660:1987(IDT)	2017	
	JISB0028:2017	製品の幾何特性仕様(GPS)－寸法及び公差の表示方式－円すい	ISO3040:2009(IDT)	2016	
	JISB0029:2000	製図－姿勢及び位置の公差表示方式－突出公差域	ISO10578:1992(IDT)	ISO1101:2013 に変更	
	JISB0419:1991	普通公差－第2部:個々に公差の指示がない形体に対する幾何公差	ISO2768-2:1989(IDT)	1989	普通公差
	JISB0612:2017	製品の幾何特性仕様(GPS)－円すいのテーパ及びテーパ角度の基準値	ISO1119:2011(IDT)	2011	
	JISB0615-1:2017	製品の幾何特性仕様(GPS)－くさび形体－第1部:角度及び勾配の基準値	ISO2538-1:2014(IDT)	2014	
	JISB0615-2:2017	製品の幾何特性仕様(GPS)－くさび形体－第2部:寸法及び公差の指示方法	ISO2538-2:2014(IDT)	2014	
	JISB0621:1984	幾何偏差の定義及び表示	ISO1101:1983(MOD)	2017	幾何公差
	JISB0641-1:2020	製品の幾何特性仕様(GPS)－製品及び測定装置の測定による検査－第1部:仕様に対する合否判定基準	ISO14253-1:1998(IDT)	2017	
	JISB0672-1:2002	製品の幾何特性仕様(GPS)－形体－第1部:一般用語及び定義	ISO14660-1:1999(IDT)	1999	
	JISB0672-2:2002	製品の幾何特性仕様(GPS)－形体－第2部:円筒及び円すいの測得中心線、測得中心面並びに測得形体の局部寸法	ISO14660-2:1999(IDT)	1999	
	JISB0682-1:2017	製品の幾何特性仕様(GPS)－真円度－第1部:用語及びパラメータ	ISO12181-1:2011(MOD)	2011	
	JISB0682-2:2017	製品の幾何特性仕様(GPS)－真円度－第2部:仕様オペレータ	ISO12181-2:2011(MOD)	2011	
	JISB0683-1:2017	製品の幾何特性仕様(GPS)－真直度－第1部:用語及びパラメータ	ISO12780-1:2011(MOD)	2011	
	JISB0683-2:2017	製品の幾何特性仕様(GPS)－真直度－第2部:仕様オペレータ	ISO12780-2:2011(MOD)	2011	
	JISB0684-1:2019	製品の幾何特性仕様(GPS)－平面度－第1部:用語及びパラメータ	ISO12781-1:2011(MOD)	2011	
	JISB0684-2:2019	製品の幾何特性仕様(GPS)－平面度－第2部:仕様オペレータ	ISO12781-2:2011(MOD)	2011	
	JISB1514-1:2017	転がり軸受－製品の幾何特性仕様(GPS)及び公差値－第1部:ラジアル軸受	ISO492:2014(IDT)	2014	
	JISB1514-2:2017	転がり軸受－製品の幾何特性仕様(GPS)及び公差値－第2部:スラスト軸受	ISO199:2014(IDT)	2014	

3. 工作機械の競争力強化に向けた課題整理

3-1. ヒアリングを通して明らかになった課題と取組、難易度

ヒアリング結果のまとめに際し、各企業の課題認識を、以下の3つの項目に分類した。

- ・ 標準化
- ・ 教育・普及
- ・ DX 化

また、全体を通しての分類軸として以下の2つを設定した。

- ・ 課題解決に要する期間
- ・ 協調領域または競争領域の技術であるか、

工作機械業界の競争力の強化および価値向上に向けて課題の整理を行い、取り組むべき戦略形成に向けた提言につながるまとめとして提示したい。

(1) 国内ヒアリングより抽出した課題

工作機械あるいはその関係ユーザーである国内企業に対してヒアリングを行った結果から、相関性の高い共通したコメント、あるいは意見を取りまとめた。

標準化について緑、教育について青、DX 化についてマゼンタの色分けでのカテゴライズしている。また、ヒアリングから課題として頂いた意見、そこから直接的、または間接的に導かれる現状認識や、今後に向けた提案をまとめた。

さらに、課題解決に向けた難易度、それに要する期間、競争領域か協調領域かといったカテゴリーを設定し、それぞれのステータスを追加するとともに、課題解決に向けた提言または現状認識を加えて図表 3-1に整理した。

(2) ヒアリングを通して明らかになった課題への取組みのマッピング

図表 3-1の課題解決に向けた提言または現状認識のマッピングを図表 3-2に示す。上下二段で協調領域か競争領域かに大別し、横軸は定性的に短期/難易度：低、中期/難易度：中、あるいは中長期/難易度：高と区分した上で俯瞰図にまとめた。

【標準化の観点】

ものづくりの DX 化の観点で、川下工程の競争力の強化に資する可能性がある協調領域の取組みをまとめた部分がマッピングの中期～長期に集中している。具体的には 3DA モデルに関連したものが多く、川下工程のニーズを踏まえた標準化、川上工程の主導からの脱却ということ、マシンリード化を促進するルール形成、あるいは PMI のセマンティック化を図るという活動がある。これらは標準化の観点での取組みと言える。

【教育・普及の観点】

もう一つ協調領域に、短期～長期にわたって教育・普及の枠組がある。ヒアリングでは、まず、下工程および中小下請け企業で 3D モデルが使われていないという意見が挙がった。ハード・ソフトウェアアプリケーションが普及されていない面もあるが、3D モデルの基本的な見方・扱い方に作業者が不慣れな点も考慮すべき要素である。また、幾何公差に関する作業者の理解度が不足しているとの指摘が各社からあり、各工程での使用方法の一般化・高度化の取組みが必要であるとの意見が挙げられた。

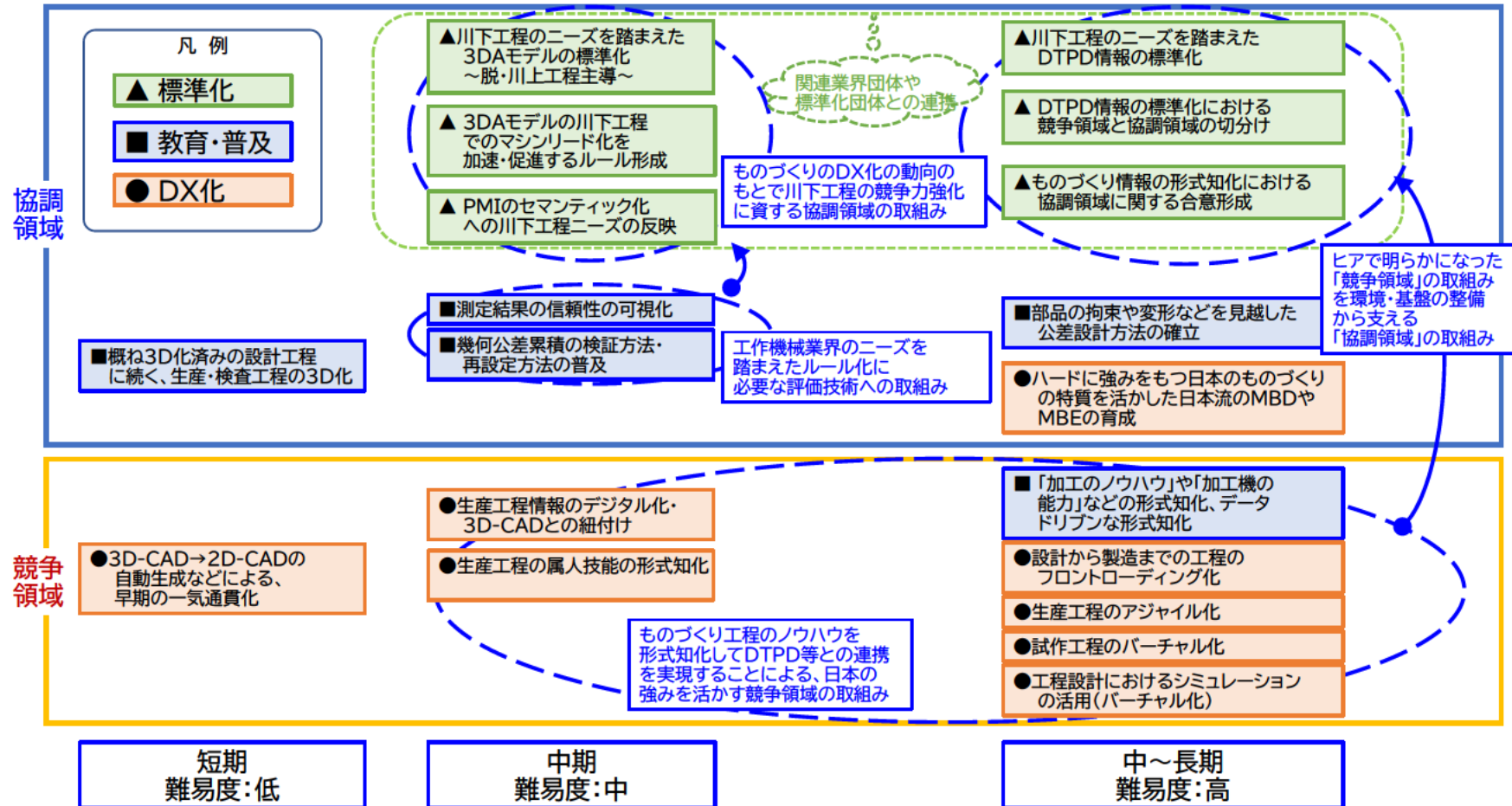
【DX 化の観点】

DX 化の観点の項目は、各社それぞれの競争の源泉・原動力となる部分であり、その多くを競争領域であると判断した。しかし、前述の「標準化」の取組がDX化を支える取組みであり、ノウハウ・知識の可視化、形式知化するスキルは「教育・普及」の観点であるともいえるため、図表 3-2 に整理した分類を妥当と判断した。

図表 3-1 課題と取り組み、難易度

業界				課題分類	課題	課題解決に向けた提言または現状認識	課題解決の難易度/期間	協調領域／競争領域
工作機械ユーザー			工作機械					
自動車・自動車部品	金型製造	加工物の計測	工作機械製造					
○	○	○	○	標準化	CAM/CAT 工程の自動化が進まない。	・PMI 付き 3D-CAD ファイルの川下工程でのマシンリード化を促進する標準化。	中/中	協調領域
○		○	○	標準化	設計の 3D-CAD 図面化が進まない。	・例えば普通幾何公差の標準化による設計工数の削減。	中/中	協調領域
○		○		標準化	3D-CAD 図面にもものづくりの技術情報を埋め込むルールが明確でない。	・これまでの川上工程の視点での標準化を脱却し、川下工程の視点を踏まえた標準化。	中/中	協調領域
○			○	標準化	生産工程の情報のデジタル化は個社個別の対応となっており、関連企業や外注先などの情報共有が困難。	・生産工程情報の DB 化に向けた、器としての標準化。	高/長	協調領域
○				標準化	製品品質の担保に必要な水準の加工における条件設定が属人化している。	・汎用性の高い設備(5 軸 MC など)の加工条件などの、器としての DB 化と標準化。	高/長	協調領域
○				標準化	加工の自動化が進まない。	・先行する刃工具 DB の標準化のように、治具類などの DB 化と標準化。	高/長	協調領域
○			○	教育・普及	設計工程は 3D 化しているが、生産・検査工程は 2D のまま。	・3D ビュアーは存在しており、視点を自在に変えられるなどのメリットはあるはず。	低/短	協調領域
○		○		教育・普及	幾何公差の利活用が進まない(特に 3D-CAD 図面)。	・幾何公差累積の検証方法・再設定方法の普及。	中/中	協調領域
○		○	○	教育・普及	図面指示の測定による検証が難しい。	・測定結果の信頼性の可視化。	中/中	協調領域
○	○			教育・普及	現場のものづくり情報の蓄積や、現場に散らばる暗黙知の形式知化が進まない。	・「加工のノウハウ」や「加工機的能力」などの形式知化、データドリブンな形式知化。 ・例えば FMEA などのツールの活用促進。	高/長	競争領域
○				教育・普及	現実のものづくり工程の制限条件を踏まえた幾何公差の設定ができていない。	・部品の拘束や変形などを見越した公差設計方法の確立。	高/長	協調領域
○	○		○	DX 化	試作外注先が 3D-CAD の活用に未対応。	・3D-CAD→2D-CAD の自動生成などによる、早期の一气通貫化。	低/短	競争領域
○				DX 化	生産準備の帳票がアナログ記録のまま。	・生産工程情報のデジタル化・3D-CAD との紐付け。	中/中	競争領域
○	○	○	○	DX 化	熟練工のキャパがボトルネック。	・生産工程の属人技能の形式知化	中/中	競争領域
○			○	DX 化	受注から量産開始までの期間半減が求められている。	・設計から製造までの工程のフロントローディング化。	高/長	競争領域
○		○	○	DX 化	急激な受注変動に対応したもののづくりが求められている。	・EV 商品の生産変動性は、家電などのような大きな生産変動を伴うとされる。 ・生産工程のアジャイル化。	高/長	競争領域
○			○	DX 化	試作回数の削減。	・試作工程のバーチャル化。 ・不良が出ないものづくりの実現。	高/長	競争領域
○	○		○	DX 化	迅速な工程立ち上げ(工程設計)。	・工程設計におけるシミュレーションの活用(バーチャル化)。	高/長	競争領域
○				DX 化	欧米の MBD や MBE への取組みに対し、日本は保守的。	・ハードに強みをもつ日本のものづくりの特質を活かした日本流の MBD や MBE の育成。	高/長	協調領域

図表 3-2 課題への取組みのマッピング



3-2. 設計(川上)と製造(川下)の連携における現状と課題

(1) 設計(川上)と製造(川下)のデータ連携に関する課題

ヒアリング調査で聞き取った、設計(川上)と製造(川下)の連携においての問題点を特性要因図として有識者検討会でまとめた(図表 3-3)。

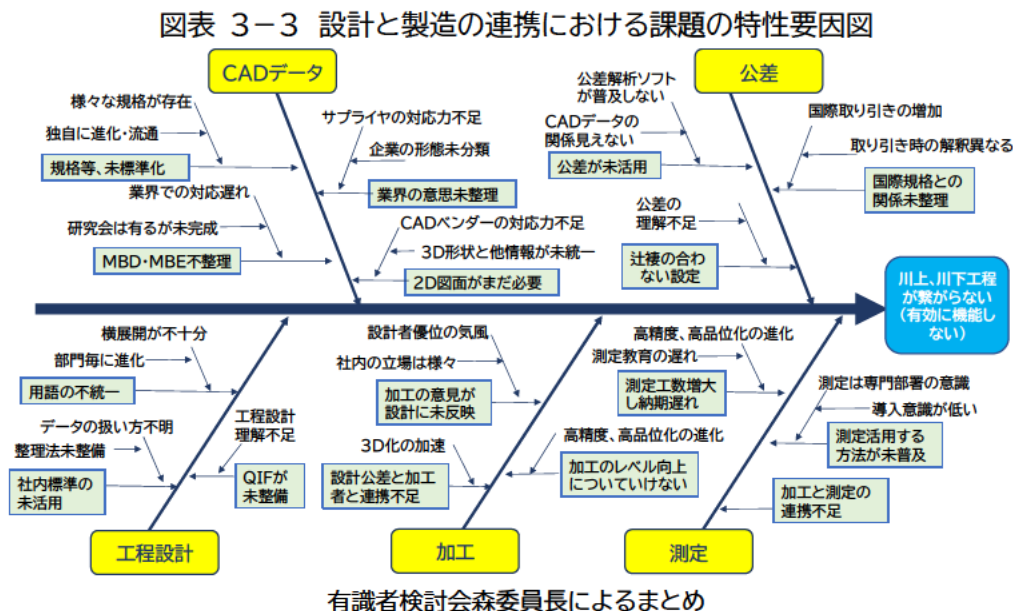
【CAD データ(左上)】 モデルベースに関する課題がある。これは一般社団法人日本自動車工業会(JAMA)でも、整理されているが、この MBD・MBE の活用方法に関する整理ができていない点、あるいは CAD 規格は数多くの種類があり規格が不統一といった課題がある。またサプライヤーや CAD データの対応力も同様に課題がある。

【公差(右上)】 川下の目線で見ると、仕様の合わない設定や、三次元データと紐付けされている公差が活用されない、あるいはその公差に関しては ISO といった規格が未整備なところがあるといった事例がある。

【工程設計(左下)】 社内で蓄積された標準やドキュメントが活用されていない、QIF が未整備、用語が部門間や社内外の不統一といった課題がある。

【加工(中央下)】 設計公差と加工公差の連携がうまくいっていない、加工者の意見が設計に反映されていない、加工のレベル向上に追従できないなどの要因で、高精度化する傾向についていけないといった声がある。

【測定(右下)】 加工と測定の連携がうまくいかない、測定を活用する方法が普及していない、測定箇所が多く測定工数が増大して納期が遅れるといった様々な問題がある。



CAD データは川下工程のデジタルツールで活用される。この中で、CAMによるNC プログラムを作成する視点からの課題を以下の項目で考察する。

(2) CAD データと川下工程のデジタルツールの連携の課題

－ 金型製造を例にした検討

(2-1) 金型製造が他の加工プロセスと比べて異なる特徴

金型とは、プレス加工、射出成型等で使用される、同じ形状のものを大量に作るための型枠である。

- ・ プレス加工では金属のプレートを金型でプレスして、必要な形状を転写し、製品を繰り返し大量に作る。
- ・ 射出成型では主にプラスチック素材溶融させ、組んだ金型の隙間に注入し、冷却して離形して製品を製造する。

OEMにとって、金型は工具のようなものであるが、金型を製品として製造するのが金型業界となる。

金型の製造において、特に最終製品に高精度が要求されるケースを考えると通常の製品加工とは異なる特徴が存在する。例えば通常の製品加工では設計図に示された形状を忠実に再現し、検査・評価するが、高精度金型では、プレスした、射出成型した後の製品の形状の精度が重要である。金型設計時に特に注意が必要な加工時の問題点は次のようなものがある。

- ・ プレス成型ではプレス後に製品がスプリングバック(形状が微妙に元に戻る)する
- ・ 射出成型では、冷却時の収縮で離型後に形状が変化する。
- ・ 離型がうまくいかず破損する

このようなことから高精度金型設計で考慮する主要な項目として次のような点が挙げられる。

- ・ 金型の形状は最終製品の形状とは必ずしも一致しない/させない場合がある。
 - 冷却後の収縮を見込んだ金型形状
 - スプリングバックを見込んだ金型形状
- ・ 最終製品形状を得るために、金型をどう分割するか
- ・ 離型がうまくいくようにどう分割するか
- ・ 金型の加工後の焼き入れ処理での変形を考慮した形状、もしくは焼き入れ後の加工の検討

金型製造会社は、通常製品の設計図をメーカーから入手し、それを基に金型の設計、試作、製品の試作、計測・評価、を繰り返し、仕様を満足する最終製品が得られる金型を製品として納入する。ここに各社のノウハウ・熟練工の技能が関与するため、社外への情報の流出を嫌う。そのため、暗黙知の形式知化、デジタル化、情報共有には否定的な場合が多い。

このように金型産業のDX化は難しい側面があるが、一般社団法人日本金型工業会では、「令和時代の金型産業ビジョン」[5]を発表しており、その中で戦略として 2.6.2 項で「IoT、デジタル化、自動化に対しての取組みについて」を掲げている。ここでは、次の項目について戦略を述べている。

- ・ ロボットや自動機を管理するために人間の力が必要
- ・ 開発・カイゼンにはやはり人間の力が必要
- ・ 利益の源泉は人のノウハウ「現場力」にある
- ・ デジタル化による技術伝承
- ・ 自動化は企業連携で行うのが効率的で、個社で行うよりも効果的
- ・ IoT・自動化の目的は単純作業からの解放

このように金型産業でもDX化は注目されていることが分かる。

本事業においても金型産業の DX 化への工作機械の貢献につながる方策を検討した。

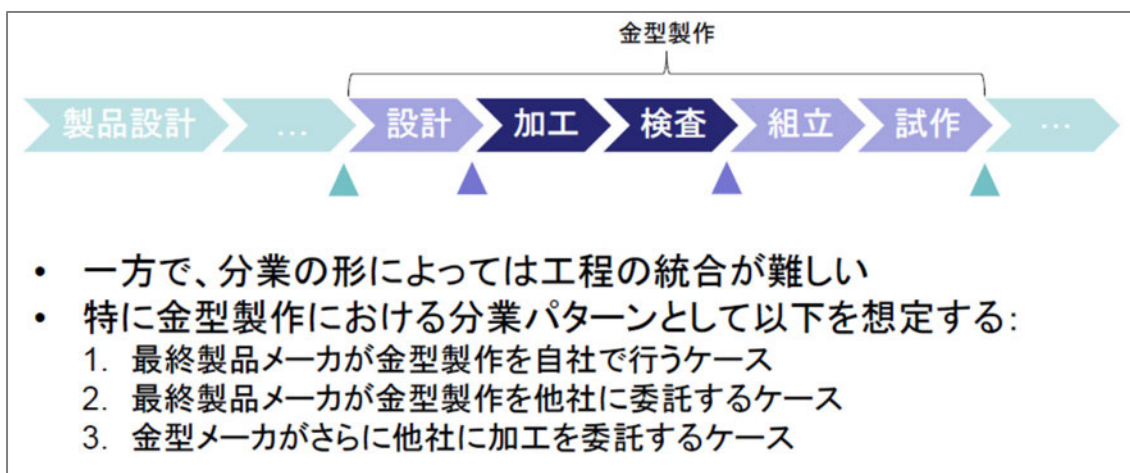
(2-2) 金型業界の分業の構造

金型製作、金型加工でフロントローディングするには、分業の形がネックになっている。想定する分業のパターンとして以下の三つのパターンを考えた(図表 3-4)。

- ・ 最終製品メーカー様が金型製作すべて行うパターン
- ・ 金型製作の部分が外注に出されて、他社で行われるパターン
- ・ 他社に加工だけ外注するというパターン

図の色が変わる部分が、分業のポイントになっており、ここで工程統合するには、データの連携が課題であると認識している。具体的にはなかなか形状以外の情報のやり取りは難しく、CAM の操作やオペレーターのノウハウに頼った運用になる。

図表 3-4 金型製作の分業



(2-3) 三次元 CAD データの共通基盤

金型製作における効果的な連携に向けた課題の具体例としては、共通ソフトウェアシステムがないことが挙げられる。共有すべきデータ・情報が発注元、発注先で使えないため、このデータの変換、読み込み、書き込みに多くの工数が使われている。

(2-4) 加工のためのモデリング・操作

また、仮にこの形状データを読み込めたとしても、なかなかそのまま加工に使えないことがある。

例えば、2つの面の間に隙間が生じたデータは、そのままでは加工に使える CAM・操作につながらず、モデルの修正や、一部面の張りなおし等が必要になり、そのためのノウハウが不可欠である。

さらに、本質的に加工のためのモデリングや操作が必要ということも挙げられる。例えば製品の

設計そのものには直接必要ない、加工に必要な形状をわざと追加する必要がある場合がある。

あるいは、要求にあった加工を行うために、保有している工作機械や工具、あるいは穴の要求といったことを考慮して、加工会社が加工方法を選ぶ。

こういった内容は製品設計の段階ではなく、金型設計の工程で行うのが妥当だと考えられる。

(2-5) 組織的な問題と技術的な問題

このように分業の構造により、フロントローディングに必要な「データの相互運用」が難しくなっており、理由には大きく、1) 組織的な問題と 2) 技術的な問題がある。

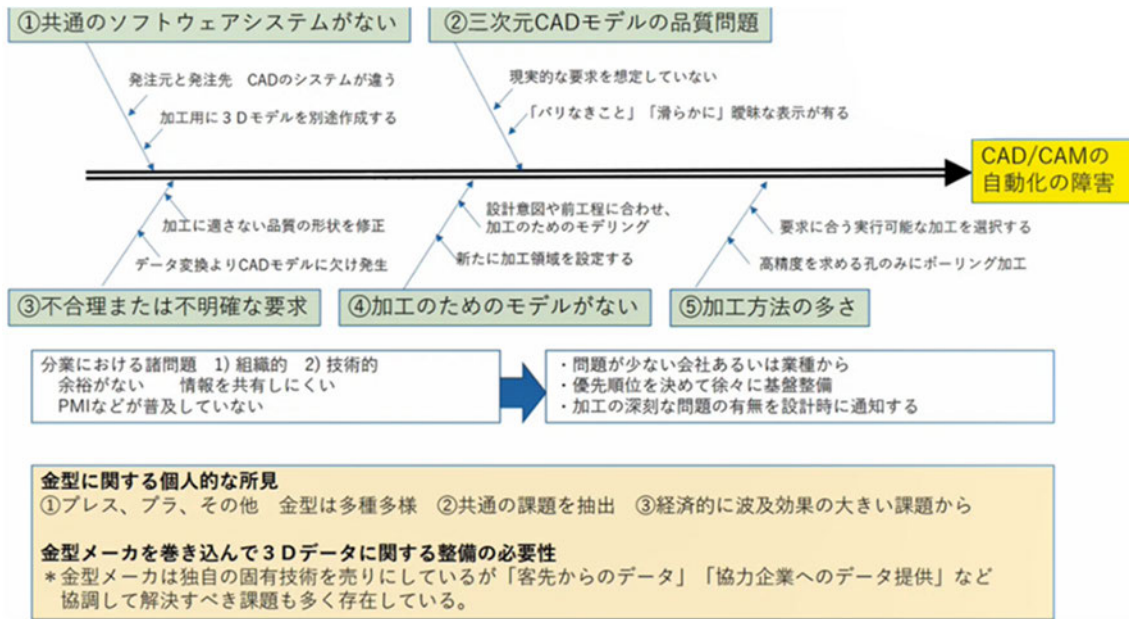
- 組織的な理由
 - 組織が分かれているためデータを共有しにくい(例:金型メーカーが部品のデジタルデータを発注元にどこまで共有するか)
 - データにあいまいさが残っているため会社間にすり合わせが必要
- 技術的な理由
 - 製造情報を効果的に表現/格納/交換するデータ規格や情報基盤が普及していない

(2-6) 今後の課題

これらのことから、次の 2 点を今後の課題として提案した。

- CAM や今後智能化の進む工作機械において、設計と製造の間でデータの相互運用ができる環境が必要
 - 米国では国立標準技術研究所(NIST)と国防総省(DoD)が連携し、防衛産業の調達に用いる技術データパッケージ(TDP)標準の普及活動を行い、製造業拡大パートナーシップ(MEP)のなかで多くの中小製造業に具体的な支援
- 国内の実状や今後のあるべき姿を踏まえた施策が求められる
 - 各業界で普及しているデータ基盤の認識、普及に向けた推進
 - 例えば業界関係者(JEITA, JAMA)の CAD 有識者と具体的課題と対策を議論する事も重要

図表 3-5 CAD/CAMの自動化の障害の要因分析



有識者検討会 森委員長によるまとめ

3-3. DX 化

(1) DX 化の取組みの例

ヒアリングした 1 社の製造 DX の取組みを紹介する。

図表 2-7 に示した、設計からアフターの流れの中で、開発のスピードアップ、フロントローディングを 3D データで一気通貫に行いたいとしている。

(1-1) 3D DR(デザインレビュー)

1/1 のスケールで投影できる大きなプロジェクターに 3D モデルを映して、製造部や関係者が集まり DR を行っている。組み立てがきちんと出来るのかどうか、アフターで保守・交換ができるのか等、VR などを使って確認する。また制御シミュレータを使って、機械の動作、制御回路の動作を事前に評価を行っている。

(1-2) 3D 組立手順書

組み立てについては、製造部の人が CAD の操作を覚え、3D の組立手順書を作る。これで決まった時間で組み立てができるのかどうか、組み立て順序はいいのか等を事前に評価している。

(1-3) デジタル試作、加工シミュレーション

デジタルで様々な評価をした後に、実際にリアルな試作・評価をしている。これによりデジタルでできるところをしっかりと行い、手戻りをなくすということを進めている。また、顧客からの依頼受注の際には、顧客と打ち合わせをしながら、加工シミュレーションやツーリングの自動設計、自動見積もりを行っている

(1-4) デジタルデータでのモノづくり

現場の各所に大型のモニターを設置し、前述の 3D 組み立手順書を見たり、各工程でのワンポイントレッスンや、作業手順の詳細、精度表にその場で測ったデータの入力を行ったりする。

(1-5) デジタル情報交換ツール

コミュニケーションツールとして開発した、専用のソフトウェアによりチーム内で上司・メンバーにおける即時の情報共有できるようにしている。

問題を登録して、対策検討から処置ができたか、対策が終わったかということの一つ一つ全員で潰し込んでいく。これを使う前は手書きで不具合リストを作って実施していたが、字が読めない、間違っって伝わる、対策行動が大変というようなことがあったのに対し、ツールを使うことによって、効率よく素早く解決できるようになったとしている。

(2) DX 化で協調可能な領域における取組みの提案

—各種ツールのプラットフォームの提供

DX 化は図表 3-2 に示したように、競争領域の取組みが多い。しかし、有識者検討会での検討では、協調が可能な領域があるのではないかという意見があった。すなわち次のような考え方である。

- 3D データ活用による「今すぐに出来そうなこと」は、製造業各社の競争力の源泉(付加価値の高い情報)に触れない領域で取り組めるものである。

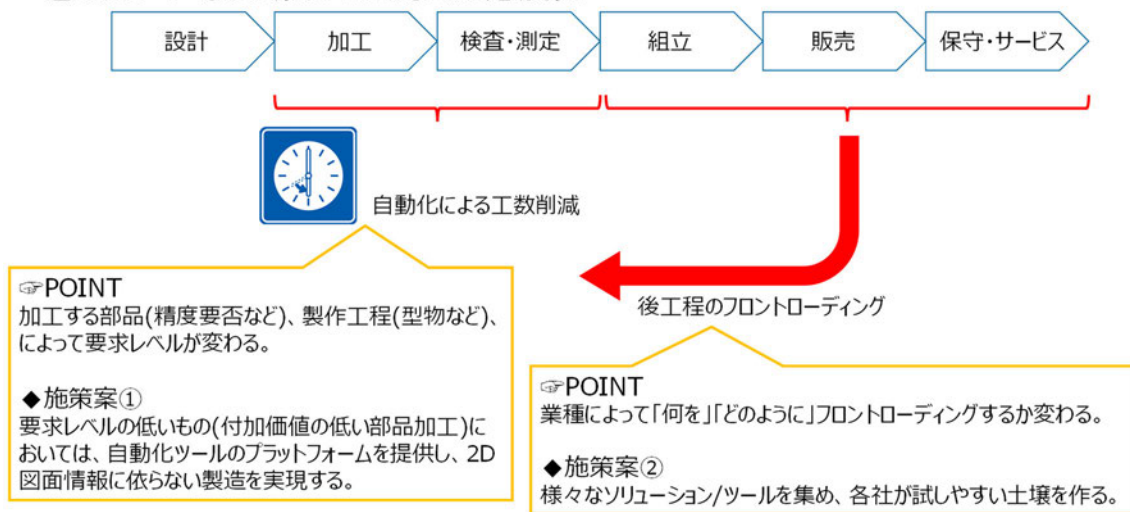
- ・ その領域は生産量が少なく、要求精度が低い領域と考えられる。
- ・ 既に世の中に出回っているツールを活用しやすくすることにより、3D データを活用した業務効率アップに各社取り組むことで、製造業全体の底上げにつながらないか、と考える。

(2-1) ものづくりを早く回す方策

部品加工を通じたものづくりのバリューチェーンとしての理想の姿、ものづくりのプロセスをいかに早く回すか、については大きく二つ、自動化による工数削減と、後工程のフロントローディング、と考えた。図表 3-6にそのポイントを示す。

図表 3-6 3D データ活用 部品加工を通じたものづくりのバリューチェーン

・ 理想の姿 : ものづくりのプロセスをいかに速く回すか



(2-2) 施策案①

具体的には、一つ目の要求レベルの低いものを、ここでは付加価値の低い部品加工と捉え、自動化ツールのプラットフォームを提供する。

図表 3-7は、横軸に要求精度レベル低中高と、縦軸に生産量、少量から中大とおき、案①の対象として、要求精度レベルがそこまで高くなく、また生産量も低い対象の領域を考えた。簡単に取り組める部分から取り組むという考え方である。

なお、横軸右側の従来レベルの非常に高い要求精度の領域は各社差別化する部分であり、対象とはならない。

図表 3-7 協調が可能と考えられる領域

- ・ 要求レベルの低いもの(付加価値の低い部品加工)においては、自動化ツールのプラットフォームを提供する。

提案の対象と考える領域		2D図面		
		不要	簡単な指示のみ	従来レベルを要求
要求精度レベル		低	中	高
生産量	小 (試作)	削り出しの少量部品 (治具部品、試作部品 etc.)	形状は簡単だが一部精度が 必要となる部品 (治具部品、試作部品 etc.)	一品物での高精度部品 (航空機、半導体、光学、医 療 etc.)
	中～大 (量産)	対象無し (生産効率低下で選択しないと 想定)	削り出しで多く削るもの (電子部品の筐体 etc.)	量産での精度部品(自動車 部品 etc.) 他工程が必要な部品(研削、 熱処理等)

ここは取り組みとしても半自動化まで。残りは各後工程で最適化を図る。
各社ノウハウによるブラックボックス化が必須な領域(生産技術が競争力の源泉)

提供する自動化ツールのプラットフォームは、最低限の機能だけを搭載し、3D モデルを読み込むことで、過去経路を事前に比較できるようなものを考える。人手をかけないことを最優先事項とし、多少の効率悪いことは許容してでも自動化を押し進めるという提案である。

(2-3) 施策案②

事例とツールから各業界／メーカーのプロセスにマッチした製品・ツールを選択できるような事例集をいろいろ用意する。ツールをいくつか並べ、各社が選びやすいような状況・事例を集めることで、その中から選んで 3D データを活用できるような土壌を作る。

以上のように、「3D データ活用の今すぐできそうなこと」を、製造業各社の競争力の源泉には触れない領域で取り組めるものという視点で提案した。すでに世の中に出回っているツールがたくさんあり、それを各社容易に取り込めるようにすることで、製造業全体の底上げにつなげたい。

3-4. 教育・普及

(1) 自動車業界の動向

自動車業界は一般社団法人日本自動車工業会(JAMA)でデジタルエンジニアリング分科会[6]を発足し、次の4つのタスクの活動を行っている。

- ・ 3DA モデル標準化タスク
- ・ 電子制御情報の交換タスク
- ・ CAE タスク
- ・ DE データ流通基盤検討タスク

「3D 図面の標準化に関わる活動」[7]では「3DA図面関連JIS化とガイドライン改定によるサプライヤー・OEM間の製品図の解釈ミス防止」を行っている。ここでは「JAMA/JAPIA 3DA モデルガイドライン」などを広く一般に公開している。

また、外部団体と幅広く連携した活動を行っている。

- ・ 政府機関・国内関係団体: JIS 化、ISO 対応など、標準化開発推進面での協調
- ・ 国際関係団体: ISO 対応、ベンダーへの One Voice 活動
- ・ ベンダー: 開発した標準のツール実装要求、標準の共同開発、共同研究

(2) MBD 推進センター「SURIWASE2.0」

MBD 推進センター(Japan Automotive Model-Based Engineering center、略称: JAMBE) [8]は「モデルベース開発技術を広く普及展開し、モデルを用いた高度なすり合わせ開発(SURIWASE2.0)を実現することにより、日本の自動車産業の国際競争力向上に貢献する」ことを基本理念として 2021 年 7 月より活動している。

図表 3-8 MBD 推進センターのビジョンと事業概要

ビジョン	・カーボンニュートラル対応や CASE 等の車両技術革新を MBD で推進し SDGs に貢献する ・すべてのプレイヤーが規模の大小を問わずモデルでつながり高効率な研究開発を推進している
事業概要	【MBD 普及推進】 MBD 普及に係る各機関の横串機能と情報の一括発信 【モデル流通推進】 ガイドラインの構築と国内諸活動のワンボイス化による国際連携窓口機能 【共通課題解決領域の拡大】 新たな共通課題の設定による各社困りごとの解決

SURIWASE2.0 は OEM とサプライヤー間のモデル流通を促進し、高度な擦り合わせを実現する。ホームページ [9]ではガイドライン/モデルの開発と啓発/教育活動を公開しており、だれでも利用が可能である。

(3) 電機業界の動向

JEITA(一般社団法人電子情報技術産業協会)では 2007 年より三次元 CAD 情報標準化専門委員会 [10]を設置し、業界標準の確立と普及を目指して活動している。

同委員会では JEITA 規格 ET-5120「3DA モデル規格—データ系、JEITA 普通幾何公差、簡略形状の表示方法について—」を策定し、3DA モデルと DTPD(Digital Technical Product Documentation)を定義している。この DTPD が JIS B 0060に発展している。

DTPD とは 3DA モデルを中核として、製品製造に関する各工程、例えば解析、試験、製造、品質、サービス、保守等に関する情報が連携した、製品製造のためのデジタル形成の文書情報である。3DA モデルと連携して、各工程で使用する情報として、各工程で作成責任をもって作成され、全体が関連を持った状態で管理される。

3DA モデルは原則的に DTPD に含まれる。又、DTPD はプロセスに応じて作成されていくデータである。

3DA モデルから DTPD が作成できる。生産工程、製造工程、計測工程の専門家が 3DA モデルを利用して、工程特有の属性を付加して、専門知識、過去経験、思考検討から、DTPD を作成、工程の専門家は、工程特有のデジタルエンジニアリングツール(CAD/CAM,CAT 等デジタルマニファクチャリングツール)を利用する。

DTPD は対象の設計、生産工程、製造工程、計測工程で使用されて、更に熟成させていくもの

である。

同委員会は「3DA モデル(3 次元 CAD データ)の使い方と DTPD への展開」[10]を出版している。DTPD の詳細はこの本を参照されたい。

JEITA 三次元 CAD 情報標準化専門委員会は、日本の主要な電気精密部品製造企業(19 社)から構成され、2007 年 9 月に設立された。ツールに依存しない三次元 CAD 情報を有効に活用する業界標準の確立と、関連業界内に広く普及させていくことで、我が国のものづくり技術の進歩、すなわち設計・製造の革新と高度化を図ることを目的としている。委員会での成果は業界標準(JEITA 規格)として制定・発行し、更に、これを広く普及させていくとともに、日本工業標準規格(JIS)への提案、更には ISO における国際標準の確立を目指している。本書執筆メンバーは、日本の主要な電気精密製品製造企業において、長年にわたり、3 次元設計を企画・推進しているメンバーである。

(文献 [10]P.272<一般社団法人電子情報技術産業協会(JEITA)

三次元 CAD 情報標準化専門委員会の紹介>より

3-5. 海外の動向・政策

(1) MIL STD 31000B

MIL-STD-31000A, DEPARTMENT OF DEFENSE STANDARD PRACTICE: Technical Data Packages (26-FEB-2018)

DoD(DEPARTMENT OF DEFENSE)により制定されたこの規格は、3D データを中心に技術データ パッケージ (TDP) およびそれに関連する TDP データ管理製品の要件を定義している。TDP の目的は、アイテムの信頼できる技術的説明を、正確で使用目的に適した様式とフォーマットにより提示すること。TDP は要素を含んでおり、レベルとタイプによって記述され、関連付けられたメタデータと補足的な技術データを持つ場合がある。TDP は、**エラー! 参照元が見つかりません。**の階層内訳に示されているように、製品および技術データのサブセットである。

3D データ内の膨大な設計情報を人間が見やすく表現するため、XML(Extensible Markup Language)によりすべての情報を階層化して可視化する。階層化することで、すべてのデータを一元に持ちながら、必要な情報だけを表示することができ、マシンリーダブルになる可能性があると考えられる。

3D pdf との親和性が高く、3D PDF コンソーシアム(3D PDF Consortium)と、PDF アシエーションの 3D PDF TWG (PDF Association's 3D PDF TWG) [11]は、MIL-STD-31000 のサポートに関するガイダンス”Using 3D PDF with MIL-STD-31000A Best Practices” [12]を作成しており、例として pdf “Example MIL-STD-31000A PDF” [13]を公開している。pdf に内蔵された TDP OPTION SELECTION WORKSHEET、3D 図面、2D 図面等を特別なソフトウェアを使用せずに見ることが可能になっている。それぞれが単

独の pdf になっているが、それらが一つの pdf file にまとめられている。MIL-STD-31000 と 3Di pdf の関係は、” MIL-STD-31000 AND 3Di pdf TDP UPDATE” [14]が分かりやすい。

3D PDF コンソーシアムは現在 ISO と共同して活動 [15]しており、ISO/TC 171/SC 2 Document file formats, EDMS (Electronic Document Management System) systems and authenticity of information [16] を発表している。

(2) NIST MBD/MBE 活動

米国立標準技術研究所 NIST 主催で「第 11 回 Model-Based Enterprise Summit 2020」が 2020 年 3 月 31 日から 4 月 2 日に開催された。[17]

MBE 2020 では、3 日間にわたって何百人もの参加者が集まった。MBE サミットの目標は、課題、研究、実装の問題、および設計、製造、品質保証、製品のデジタル 3 次元 (3D) モデルが、製品のライフサイクルにおける全ての工程での信頼できる情報源として機能するような「MBE の採用と実装の拡大・増加」であった。

米国立標準技術研究所 NIST 主催で「第 12 回 Model-Based Enterprise Summit 2021」が 2021 年 4 月 12 ～ 16 日に WEB 会議形式で開催された [18]。

MBE サミット 2021 のテーマは、MBE による回復力のあるサプライチェーンの支援であり、現在の世界的なパンデミックにより、製造サプライチェーンの柔軟性を向上させる必要性が求められており、信頼できるデータと情報を使用した製造工程によって達成される。

MBE2020 では日本からの報告もあった。[19]

(2-1) 米国の Manufacturing Extension Program(MEP)

米国立標準技術研究所の「Manufacturing Extension Program(MEP)」の WEB サイトを示す [20]。

National Institute of Standards and Technology's Manufacturing Extension Partnership (NIST MEP)は、メリーランド州ゲイサースバーグに本部があり、全米 50 州すべてと、プエルトリコにある 51 の MEP センターなどで構成されて、1,450 人を超える信頼できるアドバイザーと専門家がいます。

センターは、プロセスの改善や労働力の開発から、サプライチェーンの統合、イノベーション、技術移転などの専門的なビジネス慣行までをサポートする。

NIST(MEP)は、製造業者が、新規および維持売上高で 188 億ドル、コスト削減で 25 億ドル、新規顧客投資で 64 億ドルを達成するのに役立ち、116,700 を超える米国の製造業の雇用創出および維持した。

MEP には、従業員のために、人材の評価と計画、勧誘と採用、従業員のトレーニングと能力開発、リーダーシップ、従業員の能力保持などが含まれる。

(3) ASME MBE 委員会

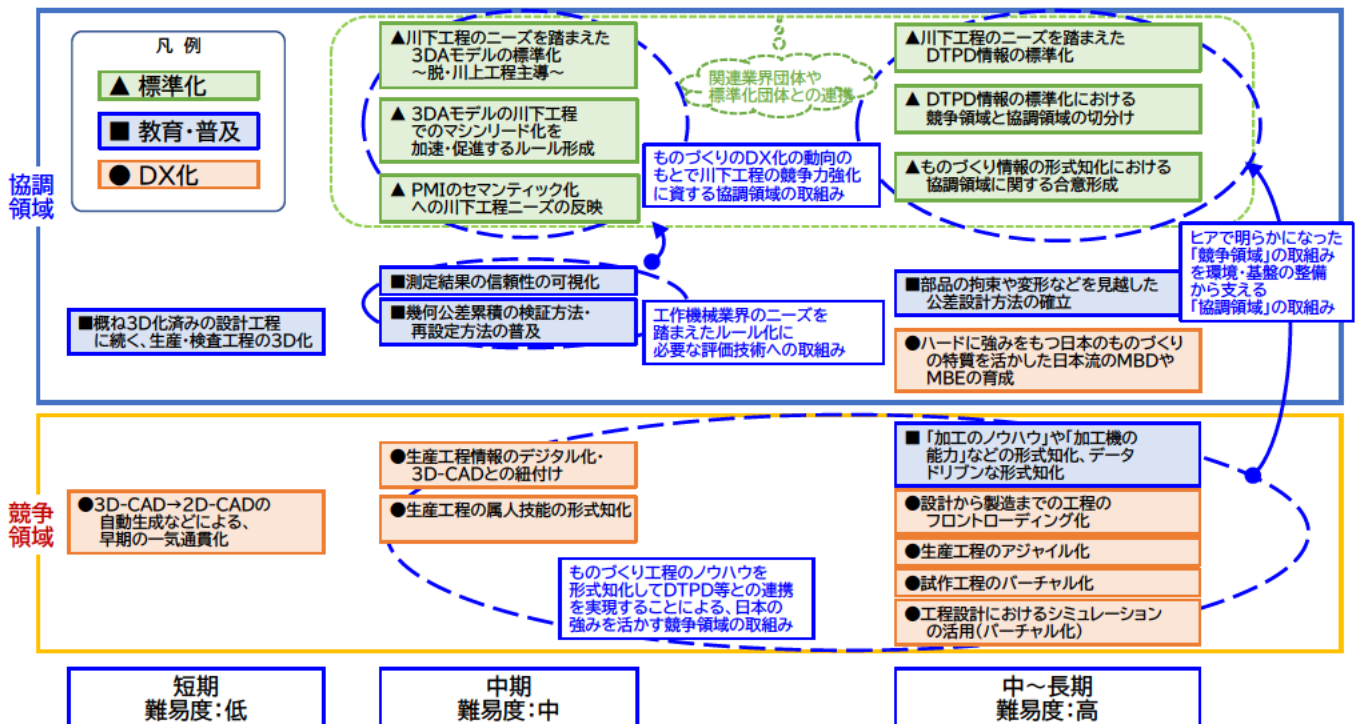
ASME では MBE 委員会 [21] を発足し、MBD/MBE のルール作りを目指している [22]。

MBD はすべての設計情報のデジタル化、MBE ではすべての企業およびサプライヤーのエンジニアリングチェーン、サプライチェーンで活用することを目的としている。

前述の「第 12 回 Model-Based Enterprise Summit 2021」では、MBE Standards の開発について [23] 報告を行っている。

4. ルール形成に向けた戦略ストーリーの仮説構築

図表 4-1 課題への取組みのマッピング(再掲)



4-1. 標準化

日本の製造業とりわけ自動車部品の業界においては、EV シフトなどを背景に急速に構造変化が起こっており、グローバルな競争環境から生産リードタイムを短縮する設計・開発のフロントローディングが求められており、試作のミニマム化、迅速な工程設計を行えるような体制づくりが急務である。

また、今後の製造業の競争力向上のために、ものづくりのノウハウ、属人技能の形式知化を進め、生産工程のアジャイル化、試作・設計工程のバーチャル化・シミュレーション活用は重要になる。

高い国際競争力を有する工作機械産業においても、こうしたユーザーニーズに的確に答え、生産プロセスのデジタル化や複合化に応えるソリューションを提供していくことが求められるが、この環境・基盤を支えるために、海外の工作機械メーカーや国内外のユーザーの動向をさらに詳細に調査しつつ、以下の点については協調領域として日本の JAMA や JEITA 等のユーザー側の標準化に向けた取組とも連動して検討を深めていくべきではないか。

- ・ 加工や計測などの工程毎に必要な情報の設計へのフィードバック、設計以降の川下工程のニーズを反映した3D、3DA モデルの標準化
- ・ 設計工程と試作加工や計測工程、量産化に向けた工程設計など、各プロセスに必要な工程間のデータ流通をスムーズに行うための DTPD 情報の抽出・標準化
- ・ DX 化の利用促進・活用を支援するための方法論の標準化

4-2. DX 化

(1) 協調可能な領域での取り組み

競争領域の多い DX 化においても、協調が可能な領域がある。3-3(2)で述べたように、生産量が少なく、要求精度が低い製作の領域での「今すぐやれること」としての各種ツールのプラットフォームの提供という提案があった。このような特定の領域での協調の可能性と方策をさらに検討していくことは価値があると思われる。

(2) 工程設計の自動化

フロントローディングで工数を削減するには、工程設計の自動化・高度化が重要である。工作機械を使用する工場で工程設計を DX 化するためには、工作機械のモデルも有効ではないか。このインターフェースを整備することに関し、JAMBE のモデルガイドライン、JEITA の3DA モデル部品ガイドライン等を参考に、その有用性を検討してはどうか。さらに、工程設計では工作機械以外に、ロボット、搬送機等様々な機器を使用することから、これらを総括して対応を検討する体制の構築も今後の検討課題となる。

当然個々のモデルは、各社の競争力である工作機械のもつ加工精度や速度を、精度よく表す競争の領域にある製品となるが、そのインターフェースを統一化することにより、ユーザーがそれを使った際に、工程がどのように組めるか、効率化できるかをシミュレーションする際に役立つようにすることが目的である。

このようなモデルの作成は、図表 2-4におけるサプライチェーンのデジタルツイン化のための工作機械モデルとしての活用も考えられ、製造 DX にもつながる可能性がある。

4-3. 教育・普及

米国では国立標準技術研究所(NIST)と国防総省(DoD)が連携し、防衛産業の調達に用いる技術データパッケージ(TDP)標準の普及活動を行い、製造業拡大パートナーシップ(MEP)のなかで多くの中小製造業に具体的な支援を進めている。このような官が主導する、特に中小企業をターゲットにした、3DACAD、デジタル化ツールの導入支援といった普及活動・政策は欠かせない。

さらに、3DA データ、幾何公差、各種ツールによるシミュレーション・デジタル化の活用にあたっては、設計者からエンジニアリングチェーンの各工程の現場作業員まで、それらについての知識・技能の向上が必須である。これを促すためには、高校・大学等における基礎教育の拡充、企業内での教育支援、資格・検定によるスキル向上意識の促進などの活動を官民一体となって行う必要がある。

5. 参考資料

5-1. 重要な用語(略語)

用語	英語	説明
2D 図面	2D drawings	2次元の平面図で作成された図面
3D pdf	3D Portable Document Format	3次元CADデータを内蔵し、表示することができる印刷用フォーマットファイル
3DA CAD/Model	3D annotated CAD/model	設計モデルを中心に、寸法・公差・幾何特性・物性などの製品特性を表すアノテーションまたはアトリビュート、3Dモデル管理情報(部品番号、リビジョン、箇条書き注記など)を付加したデータセット
3Di PDF	3D Intelligent PDF	NIST が TDP の 3D 化を促し、誰にでも使いやすくするため、MIL-STD-31000 B Rev で定義した PDF のデータ保存形式
APIS, APIS IQ		ドイツ APIS 社が開発した、ツリー構造を持つ FMEA ツール
BOM	Bill Of Materials	部品表・部品構成表
CAD	Computer Aided Design	コンピュータを使用して設計を行うこと。またそのためのソフトウェア
CAE	Computer Aided Engineering	振動・運動・温度などの個別の環境下でのシミュレーションを行うこと
CAM	Computer Aided Manufacturing	コンピュータを使用して製造を行うこと。またそのためのソフトウェア。狭義には工作機械を動かすための加工プログラム作成ソフト
CAT	Computer Aided Testing	コンピュータを使用して計測・評価を行うこと。またそのためのソフトウェア。
CMM	Coordinate Measuring Machine	3次元測定器
CPS	Cyber-Physical System	実世界(フィジカル空間)にある多様なデータをセンサーネットワーク等で収集し、サイバー空間で大規模データ処理技術等を駆使して分析/知識化を行い、そこで創出した情報/価値によって、産業の活性化や社会問題の解決を図っていく
DFMEA	Design Failure Mode and Effect Analysis	設計FMEA:製品設計による故障やトラブルを想定して、未然防止をはかり、製品や工程の信頼性品質を高めるための手法
DIN	Deutsches Institut für Normung	ドイツ連邦共和国が定めた国家規格
DoD	Department of Defense	米国国防総省
DR	Design Review	開発の手戻りを未然防止するために設計を審査する会議のこと
DTPD	Digital Technical Product Documentation	3DAモデルを中核として、製品製造に関する各工程、例えば解析、試験、製造、品質、サービス、保守等に関する情報が連携した、製品製造のためのデジタル形成の文書情報である。 3DAモデルと連携して、各工程で使用する情報として、各工程で作成責任をもって作成され、全体が関連を持った状態で管理される。
DTPD	Digital Twin	現実世界の情報をもとに、仮想世界に「双子」を構築し、さまざまなシミュレーションを行う技術
DX	Digital Transformation	ビッグデータなどのデータと AI や IoT を始めとするデジタル技術を活用して、業務プロセスを改善してだけでなく、製品やサービス、ビジネスモデルそのものを変革するとともに、組織、企業文化、風土をも改革し、競争上の優位性を確立すること
ECM	Engineering Chain Management	エンジニアリングチェーン・マネジメント:製造における全体の最適化と、開発力の向上を目的としたマネジメント

用語	英語	説明
EDMS	Electronic Document Management System	電子文書管理システム。E は Enterprise, Engineering, Environment などの場合もある
EMS	Electronics Manufacturing Service	電子機器受託生産
EN	European Norm	－規格:EU(ヨーロッパ連合)域内における統一規格
ERP	Enterprise Resources Planning	経営計画システム:企業経営の基本となる資源要素(ヒト・モノ・カネ・情報)を適切に分配し有効活用する計画
EV	Electric Vehicle	電気自動車
FA	Factory Automation	工場全体の自動化システム
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis	故障モード影響解析:潜在的故障及びその影響の特定、要因のランク付け、リスクを低減する処置とその結果を評価する手法
GPS	Geometrical Product Specification	幾何特性仕様:幾何特性ごとに表現した際の許容される誤差
IoE	Internet of Everything	モノだけではなくヒトやサービスも含めたすべてがインターネットにつながる
IoT	Internet of Things	モノのインターネット。デバイスや家具・家電製品などあらゆるモノがインターネットにつながり、データの送受信を行うこと
ISO	International Organization for Standardization	国際標準化機構
JAMA	Japan Automobile Manufacturers Association, Inc.	一般社団法人日本自動車工業会
JAMBE	Japan Automotive Model-Based Engineering center	MBD 推進センター
JAPIA	Japan Auto Parts Industries Association	一般社団法人日本自動車部品工業会
JEITA	Japan Electronics and Information Technology Industries Association	一般社団法人日本電子情報技術産業協会
JIS	Japanese Industrial Standards	日本産業規格
JT	The Jupiter Tessellation	ISO14306:2017 3D 製品定義データの取り込みと再利用を可能にする製造業界向けの高性能で軽量、柔軟なファイル・フォーマット
MBD	Model Based Definition	紙資料ではなく、デジタルモデルにモノづくりの情報を定義し、シミュレーション技術を活用した開発手法。「モデル」の活用による制御や動作、製品の妥当性の検証を行う。 D は Design, Development の場合がある。
MBE	Model Based Enterprise	デジタル 3 次元 (3D) モデルが、設計、製造、品質保証、製品設計、製造、品質保証などの製品のライフサイクルにおける全工程での信頼できる情報源として機能すること。一度作成されたモデルが全ての下流工程、他企業で再利用される。 EはEngineeringの場合がある
MEP	Manufacturing Extension Program	MEP は米国立標準技術研究所の「Manufacturing Extension Program(MEP)」のことである。 MEP には、従業員のために、人材の評価と計画、勧誘と採用、従業員のトレーニングと能力開発、リーダーシップ、従業員の能力保持などが含まれる。

用語	英語	説明
MES	Manufacturing Execution System	製造実行システム:
MI	Materials Informatics	情報科学の手法を応用した、材料開発の効率を高める方法
MIL	United States Military Standard	米軍 MIL 規格:アメリカ国防総省が制定したアメリカ軍の資材調達に関する規格
NIST	National Institute of Standards and Technology	米国立標準技術研究所
OEM	Original Equipment Manufacturer	自社で製造した製品を、他社のブランドで販売する製造業社。「オリジナル製品の製造業者」の意味でも使われる。
PDM	Product Data Management	CAD データや BOM など、製品や設計に関するデータを一元管理する製品情報管理システム
PDQ	Product Data Quality	モデルデータ品質(主に形状の品質、例えば曲面の折れ/離れ)(ISO 10303-59 と関連モジュール群)
PFMEA	Process Failure Mode and Effect Analysis	工程FMEA:製品や製造プロセスの故障やトラブルを想定して、未然防止をはかり、製品や工程の信頼性品質を高めるための手法
PLC	Programmable Logic Controller	製造装置などの制御に使用されるコントローラ
PLM	Product Lifecycle Management	製品ライフサイクル管理
PMI	Product Manufacturing Information	製品製造情報
QIF	Quality Information Framework	ISO23952(30.99)による計測・検査を中心とする 3D フォーマット。形状データ、PMI を含む
SCM	Supply Chain Management	サプライチェーン・マネジメント:原材料の調達から製造、販売、消費までの一連の流れのなかで得た情報とモノや金の流れを結びつけて、それを共有・分析して全体の最適化を図ること
STEP	Standard for the Exchange of Product model data	正確な製品データ表現を規格化、製品データ交換などに活用。ISO 10303 で、自動車が中心の AP214 と航空機が中心の AP203 が統合され IS 規格 AP242 として整備
TDP	Technical Data Package	MBE の技術情報を、流通・管理するためにひとまとめたもの
VR	Virtual Reality	人工現実感、仮想現実
XML	Extensible Markup Language	文章の見た目や構造を記述するためのマークアップ言語の一種。主にデータのやりとりや管理を簡単にする目的で使われ、記述形式がわかりやすい
アジャイル	agile	「俊敏な」「すばい」という意味の英単語で、要求仕様の変更などに対して、機敏かつ柔軟に対応するためのソフトウェア開発手法
幾何公差	geometric tolerance	形状や位置関係などの誤差の許容範囲を指示して規定するもの
幾何特性	geometrical characteristic	物の形・大きさ・位置関係などの 14 種類の特性。大きく形状偏差、姿勢偏差、位置偏差、振れ偏差の 4 つに分類される。
公差	tolerance	許容される誤差
サイズ公差	size tolerance	サイズや長さの許容差を指示して規定するもの。2016 年に JIS で「寸法公差」から「サイズ公差」に変更された
サプライヤー	supplier	製品の部品を製造し供給、納入する業者
セマンティック	semantic	コンピュータに文書や情報の持つ意味を正確に解釈させ、文書の関連付けや情報収集などの処理を自動的に行わせる技術
データム	datum	加工や寸法測定をする場合に基準とする面または線・点
ヒューマンビジブル		マシンリーダブルの対義語で、コンピュータ上のデータ集合やファイルが人が理解しやすくなっていること
フロントローディング	front-loading	製造の工程において前倒しが可能な工程を初期段階で行うこと
マシンリーダブル	machine readable	コンピュータ上のデータ集合やファイルの持つ性質の一つで、記述された内容がコンピュータプログラムによって容易に処理可能であること

5-2. 引用文献

引用文献

1. 一般社団法人日本工作機械工業会. 工作機械産業ビジョン2030. 2022年6月.
2. 第9回産業構造審議会 製造産業分科会. 製造業を巡る動向と今後の課題. 2021年9月. ページ: 53.
3. 第8回産業構造審議会 製造産業分科会. 製造業を巡る動向と今後の課題. 2020年6月. ページ: 33, 45.
4. A Comparison of GD&T Standards: ISO GPS vs. ASME Y14.5. (オンライン) <https://www.gdandtbasics.com/iso-vs-asme-standards>.
5. JDMIA. 金型産業ビジョン. 一般社団法人日本金型工業会 | 日本金型企業ネットワーク. (オンライン) <https://www.jdmia.or.jp/vision/>.
6. JEITA. JEITA-三次元 CAD 情報標準化専門委員会. JEITA 電子情報技術産業協会. (オンライン) <https://home.jeita.or.jp/3d/index.htm>.
7. JAMA. JAMA-3D 図面の標準化に関わる活動. JAMA-一般社団法人日本自動車工業会. (オンライン) https://www.jama.or.jp/cgi-bin/it/download_01.cgi.
8. JAMBE. MBD 推進センタートップページ. MBD 推進センター. (オンライン) <https://www.jambe.jp/>.
9. 一. ガイドライン / モデル MBD 推進センター. MBD 推進センター. (オンライン) <https://www.jambe.jp/system/download>.
10. (一社)電子情報技術産業協会三次元 CAD 情報標準化専門委員会. 3DA モデル(3 次元 CAD データ)の使い方と DTPD への展開. 日本 : 日刊工業新聞社, 2021.
11. PDF association. 3D PDF TWG. PDF Association - The home of the PDF technology industry. (オンライン) <https://www.pdfa.org/community/3d-pdf-twg/>.
12. PDF Association. Using 3D PDF with MIL-STD-31000A. PDF Association - The home of the PDF technology industry. (オンライン) <https://www.pdfa.org/wp-content/uploads/2021/07/Best-Practices-for-using-3D-PDF-with-MIL-STD-31000A-20170925-Draft.pdf>.
13. 一. Example MIL-STD-31000A PDF. PDF Association - The home of the PDF technology industry. (オンライン) <https://www.pdfa.org/wp-content/uploads/2021/07/MIL-STD-31000A-TDP-20160919.pdf>.
14. WindhamJeff. MIL-STD-31000 AND 3Di pdf TDP UPDATE. National Institute of Standards and Technology. (オンライン) 2019 年. https://www.nist.gov/system/files/documents/2019/04/05/16a_mil-std-31000_update_and_3di_pdf_tdp_jeff_windham.pdf.
15. ISO. ISO - 3D PDF Consortium. ISO - International Organization for Standardization. (オンライン) <https://www.iso.org/organization/6759732.html>.
16. 一. ISO - ISO/TC 171/SC 2 - Document file formats, EDMS systems and authenticity of information. ISO - International Organization for Standardization. (オンライン) <https://www.iso.org/committee/53674.html>.
17. NIST. Model-Based Enterprise Summit 2020 | NIST. National Institute of Standards and Technology. (オンライン) <https://www.nist.gov/news-events/events/2020/03/model-based-enterprise-summit-2020>.
18. 一. 2021 Model-Based Enterprise Summit | NIST. National Institute of

- Standards and Technology. (オンライン) <https://www.nist.gov/news-events/events/2021/04/2021-model-based-enterprise-summit>.
19. —. Proceedings of the 11th Model-Based Enterprise Summit (MBE 2020). National Institute of Standards and Technology. (オンライン) <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ams/NIST.AMS.100-29.pdf>.
 20. —. About NIST MEP. National Institute of Standards and Technology. (オンライン) <https://www.nist.gov/mep/about-nist-mep>.
 21. ASME. C&S Connect > MBE Stds Com Model Based Enterprise Home Page. The American Society of Mechanical Engineers - ASME. (オンライン) <https://cstools.asme.org/csconnect/CommitteePages.cfm?Committee=102216151>.
 22. —. Model Based Enterprise (MBE) - ASME. The American Society of Mechanical Engineers - ASME. (オンライン) [https://www.asme.org/codes-standards/about-standards/the-future-of-asme-standards/model-based-enterprise-\(mbe\)](https://www.asme.org/codes-standards/about-standards/the-future-of-asme-standards/model-based-enterprise-(mbe)).
 23. ConstantinoFrederic. ASME Model-Based Enterprise Standards Development. National Institute of Standards and Technology. (オンライン) <https://www.nist.gov/system/files/documents/2021/04/26/Tuesday%20-%2002%20-%20ASME%20Model-Based%20Enterprise%20Standards%20Committee%20Overview.pdf>.
 24. Differences Between US Standards and Other Standards - Free. (オンライン) <http://160592857366.free.fr/joe/METROLOGY>.
 25. 「ゼロからわかる幾何公差」. (オンライン) <https://www.keyence.co.jp/downloads/?mode=tg&q=%E5%B9%BE%E4%BD%95%E5%85%AC%E5%B7%AE&o=0>.
 26. ASME. ASME Y14.5 2018.
 27. 日本規格協会 . JIS ハンドブック JIS HB 59 製図 (2022). 出版地不明 : 日本規格協会 , 2022.
 28. 日本産業標準調査会. JIS・国際規格の整合性情報. (オンライン) <https://www.jisc.go.jp/jis/general>.
 29. ASME. ASME Y14.5:2009 (和訳) 寸法及び公差記入法－設計図及びその関連文書の作成方法.
 30. JAMA. デジタルエンジニアリングに関する標準化活動. JAMA—一般社団法人日本自動車工業会. (オンライン) https://www.jama.or.jp/operation/it/dg_egr/index.html.
 31. JAMBE. 「MBD 推進センターのご紹介」2022 年 10 月版. MBD 推進センター. (オンライン) <https://www.jambe.jp/news/20221013-569>.
 32. ASME. The American Society of Mechanical Engineers - ASME. The American Society of Mechanical Engineers - ASME. (オンライン) <https://www.asme.org/>.
 33. PDF Association. MIL-STD-31000 Technical Data Packages (TDPs). PDF Association - The home of the PDF technology industry. (オンライン) <https://www.pdfa.org/resource/mil-std-31000-tdp/>.
 34. iSID. MBE(Model Based Enterprise)の導入 | ソリューション | 製造業 DX の ISID 電通国際情報サービス. 製造業 DX の ISID 電通国際情報サービス. (オンライン) <https://mfg.isid.co.jp/solution/mbe-detailed-design/design->

- quality/mbe.php.
35. Landers Research Group. Landers Research Group. University of Notre Dame. (オンライン) <https://landersgroup.nd.edu/>.
36. JAMA. Microsoft PowerPoint - データ流通の標準活用で製造業の競争力向上を目指し_配布_V1.pptx. JAMA - 一般社団法人日本自動車工業会. (オンライン) https://www.jama.or.jp/operation/it/event/jdf2020/report/pdf/jdf2020_pm_B_02.pdf.