

日本の産業における付加製造の品質保証 国際基準と戦略の比較分析

事業戦略本部

鳴海 貴慶

1. はじめに

1.1 日本におけるAMの背景

一般に3Dプリンティングとも称される、アディティブ・マニュファクチャリング(AM)は製造業において革新的な変化をもたらす技術である。この技術は自動車、航空宇宙、ヘルスケアといった多様な産業で採用され、進化を続けている。複雑な形状の迅速な製造、規模に応じたカスタマイズ、材料の効率的な利用など、新たな可能性を開く能力を提供する。これらの能力は、長い歴史を持つものづくりの精神に合致し、従来の製造パラダイムに対して革新的な影響を与える可能性がある。

1.2 AMにおける品質保証の重要性

AMは数多くの優れた特性を持つ一方で、特有の課題も存在し、その解決には厳格な品質保証プロトコルが必須である。AMが採るレイヤーごとの製造方法は、材料特性の不一致、構造的な不整合、加工後の変形といった問題に容易に影響を受ける。これらの問題は、従来の製造工程とは異なり、AM固有の課題である。例として、印刷された層の微細構造におけるばらつきが、最終製品の機械的特性に悪影響を与える可能性が高く、AMの高度な複雑性がこの問題をさらに困難にする。

また、AM環境においては、印刷速度、材料供給

速度、温度制御など多数の要素が複雑に影響しあう。これらの要素を精密に管理しなければ、製品の品質は確保されない。さらに、これらのパラメーターは非常に繊細であり、わずかな偏りが品質に大きな影響を与える可能性がある。そのため、品質保証に焦点を当てたアプローチが、AMの内在するリスクを軽減し、そのポテンシャルを最大限に発揮するために不可欠である。

本稿は、ISO 52920 および ISO 52904 の規格に基づいた包括的な分析と、AMに関連する品質管理技術および手法についての体系的な概要を提供し、付加製造における効果的な品質保証戦略の実施に関わる課題と機会を明らかにすることを目的とする。

2. AM産業における日本の位置づけ

2.1 日本におけるAMの現状

(1) 日本の製造業とAMの統合に関する分析的考察

3Dプリンティング技術は、現代製造業でイノベーションの主要な要素として注目されている。日本もこの流れに例外ではなく、政府の「科学技術イノベーション総合戦略」において、強化すべき重点項目とされている。

この技術は多様な方式に分類され、それぞれが独自の特性と適用分野を有している。付加製造用の材料、共通システム技術、方式別の個別

技術、そしてアプリケーション技術は、製造業での 3D プリンティングの多角的な適用に不可欠な要素技術である。

3D プリンティングは、多くの用途で活用されている。マスマンファクチャリングからマスカスタマイゼーション、プロトタイピング、そして一品毎の特別製造まで、各産業分野での課題と機会は、適用目的によって大きく異なる。

加えて、日本はこの分野の国際標準化と知的財産戦略の領域でも貢献をしている。次世代 3D 積層造形技術総合開発機構 (TRAFAM) が国内で審議委員会を構成し、ISO/TC261 と同様のワーキンググループで国際標準化活動に参加している。この取り組みにより、日本の製造業は国際水準に適合する機会を得ている。

日本の製造業において、3D プリンティングは新たなビジネスモデルや設計手法を探索する、または生産プロセスを革新するといった方面で多くの機会を提供している。しかしながら、競争力の高い中国や米国と比べて、日本の製造業が必要とされているのは、この革新的な技術を最大限に活用するための迅速かつ戦略的な行動である。

(2) AM 導入に対する日本の戦略的アプローチを導く要因

① 市場環境

3D プリンタの世界市場は拡大しているが、特に金属材料に対する需要が急増している。この動向は、自動車や航空・宇宙産業など、3D プリンタの利用が急募される状況を引き起こしている。

② 政策動向

日本は政府レベルで「科学技術イノベーション

総合戦略」や「SIP「革新的設計生産技術」を通じて、3D プリンティング技術の研究開発を促進している。加えて、国際標準化や知的財産戦略の整備も進展している。

③ 製造技術

日本は、低コスト化、高信頼性、材料開発、データ生成・処理の高速化・知的処理、大型 3D プリンタ、および高付加価値化といった多角的な課題に取り組む必要がある。

④ 応用技術

適用可能な分野での用途拡大、材料、装置、後処理分野での連携の強化および拠点整備、新たなビジネスモデルや設計手法の開発など、多様な戦略的取り組みが、日本における 3D プリンティング技術の普及と成熟を促進する要素となる。

総合的な考慮として、日本が AM 戦略を有効に推進するためには、市場環境の深い理解、政策の適切な設計と実施、特許戦略の調整、製造技術と応用技術の向上が不可欠である。このような多角的なアプローチが、日本における 3D プリンティング技術の成熟と産業界での安定した地位確立に繋がる。

2.2 包括的品質保証の必要性

AM における品質保証の重要性は、従来の製造プロセスを遥かに超えている。多くの産業において AM が製造に革命的な影響を与える可能性があるため、強固な品質保証メカニズムの導入は極めて必要である。

2.3 AMの普及における品質保証の意義

品質保証は、AM技術の広範な採用を促進する触媒として働く。製造部門が拡張性、効率性、カスタマイズ性の向上を目指す過程で、厳格な品質保証プロトコルは不可欠である。このような対策は、国際基準を満たすだけでなく、消費者の信頼をも確立する。日本が高い精度と信頼性で評価される文脈において、体系的な品質保証は競争力を高める。

3. 国際基準と日本の視点

3.1 ISO52920

(1) ISO52920の解説

ISO52920は、積層造形分野で基礎的な規格であり、関連する産業における資格認定の基本原則と要件を設定している。この規格は専門用語や多数の条項で構成されているため、初めて接する者には複雑に見えるかもしれない。しかし、その内容をしっかりと把握することが、AMの品質、一貫性、安全性を確立する鍵である。

まず重要なのは、用語の理解である。AMは、デジタルモデルを基にレイヤーごとに物体を造形する手法を指す。この規格においては、「認定原則」と「工業用サイト」といった用語が品質を理解するためのフレームワークを提供する。認定原則は品質管理の核心となる考え方であり、工業用サイトは、AMが工業規模で行われる場所を指す。

ISO52920の適用範囲もまた重要な観点である。この規格は、航空宇宙産業からヘルスケアまで、多様な産業に適用可能な設計となっている。それは製造現場だけでなく、使用する機器や採用するプロセスにも適応する。この業界非依存の特

性により、AMの品質保証において汎用的なツールとして機能している。

規格内で注目されるのは、資格認定プロセスを導く特定の原則である。サイトクオリフィケーションは、製造サイトがインフラから人材育成に至るまでの必要条件を満たしているかを検証する活動である。工程管理は、AM工程を単に監視するだけではなく、その工程を調整し、最適化するメカニズムを導入することが求められる。最後に、品質保証はこれら全ての段階において行われ、最終製品が事前に定義した品質基準を達成していることを保証する全体的な活動である。

ISO52920に準拠する過程では、一連の厳格な手順が必要である。組織は監査を受ける必要がある、その結果を基に認証を取得する。この認証を維持するためには継続的な品質チェックが不可欠であり、それが付加製造における品質向上の確実な手段となる。

ISO52920を理解することは、積層造形に関わる品質についての共通語彙を習得する過程とも言える。ISO52920の基本原則、要件、そしてコンプライアンスメカニズムは、工業用AM業務において高い水準を確立する強固な基盤を提供する。

(2) 日本のものづくりの理想と規格のカスタマイズによる互換性の確保

日本の製造業は、リーン生産方式からカイゼンの継続的改善モデルに至るまで、多様かつ独自の文化が組み込まれている。これらの原則は単なる工業的ガイドラインに留まらず、日本の文化と価値観に深く根ざしている。したがって、ISO52920のような国際規格の導入に際しては、これらの地域特有の価値観と調和させるための

緻密な適応が不可欠である。

一般に、ISO52920 と日本の製造業の原則との間には、いくつかの乖離点が存在する。特に、ISO52920 は日本の製造業で重視される継続的改善や「報連相」といった労働倫理に直接的に対応していない可能性がある。したがって、ISO52920 を日本の製造業の原則に適合させるアプローチが求められる。具体的には、規格の認定原則にカイゼンの原則を組み込むこと、さらには「報連相」を反映した条項を設定することが必要となる。

このような適応を行う場合、単なる形式的な適応ではなく、戦略的なアプローチが必要である。適応された規格に対する労働者の教育は、研修プログラムを通じて実施可能である。また、パイロットテストを行うことで、修正の有効性を評価し、業界全体への導入を円滑に進めることができる。

ISO52920 を日本の製造業に適合させることは、異文化間の産業外交ともいえる重要な取り組みである。このような適応を実施することで、日本独自の製造原則を尊重しつつ、ISO52920 は AM における品質保証の強固なフレームワークとして機能する。

3.2 ISO 52904

ISO 52904 は、積層造形の分野で極めて重要な規格である。この規格は 2019 年 8 月に制定され、金属粉末床融合に関連するプロセス特性、性能基準、品質チェックの包括的なガイドラインを提供する目的である。

(1) AM プロセスと品質チェックとの関連性

ISO 52904 の主要な目的は、特に金属粉末床

融合プロセスにおける品質保証の普遍的な枠組みを構築することである。この規格は、寸法精度、機械的特性、表面仕上げといった最終製品の完全性を確保するための複数の品質チェックを明示している。これらの品質チェックは、AM プロセスが設定された品質ベンチマークに適合、またはそれを上回るかを確認する上で必要である。

(2) AM における特定の課題への対応

① 材料特性

ISO 52904 は、金属粉末の選択と取り扱いに関する厳格な基準を定めている。これにより、材料の一貫性と信頼性が保証され、最終製品の品質に対しても影響を与える。

② 製造公差

ISO 52904 は、設計仕様に準拠した部品が製造されることを保証する目的で、許容可能な製造公差、層厚、フィーチャーサイズを定義している。これらのガイドラインは、AM 製品の均一性と精度を確保する上で不可欠である。

③ 加工後の品質管理

熱処理、表面仕上げ、サポート除去など、加工後の工程での品質保証に関する規定も ISO 52904 に盛り込まれている。これにより、最終製品は設計要件だけでなく、製造後の品質基準も満たすことが保証される。

(3) 日本の製造業への適用

ISO 52904 は国際的に認知された規格であるが、日本独自の製造環境に対する適応も必要である場合がある。例えば、現地の規制や特有の品質指標を組み込むことで、規格を更に実用的にすることが可能である。ISO 52904 の採用は、AM に関連するリスクを低減し、日本における AM

技術の普及を促進する可能性がある。

ISO 52904 は、特に金属粉末床融合プロセスにおいて、品質保証の基盤となる規格である。材料特性、製造公差、加工後の品質管理といったAM 特有の課題に対応している。日本の製造業でも応用の余地があり、適切な適応を行うことで、AM 技術の広範な普及に貢献する可能性がある。

4. AM における品質保証の技術と方法

4.1 AM 特有の品質管理技術

(1) テクニックの概要

AM の領域においては、品質を確保するため従来の方法と新しい特有のテクニックが融合される必要がある。AM の操作は、材料使用、層別の構造、ラピッドプロトタイピングなどの面で従来の製造とは大きく異なる。したがって、品質保証のアプローチもそれに応じて柔軟である必要がある。

AM に固有の品質管理技術は以下のように多岐にわたる。

① レイヤーのモニタリングとリアルタイム分析

AM の性質上、各レイヤーをリアルタイムで監視することは欠かせない。これにより、不整合や欠陥を即時に検出し、適時な修正が行うことができる。

② 現場プロセスセンサー

これらのセンサーは AM 装置に組み込まれ、温度勾配や材料流量、レーザー出力などのデータを収集する。これらの情報を監視することで、一貫した品質を維持できる。

③ 製造後のトモグラフィ

製造が完了した後、X 線トモグラフィ等の技術を用いて製品の内部構造を検査し、空隙や亀

裂、介在物を特定できる。

④ 材料の特性評価

AM で使用する材料、特に金属粉末は特有の性質を持つため、詳細な特性評価が必須である。粉末レオロジー試験や粒度分析を通じて、材料の一貫性を評価し、AM プロセスでの性能を予測できる。

(2) 従来の製造品質管理との比較分析

何十年にもわたって確立された従来の品質管理方法は、最終製品の検査や標準化された工程、バッチ単位の評価に焦点を置いている。それに対し、AM 特有のテクニックはリアルタイムでの詳細な評価へのシフトを意味する。

① リアルタイム検査とライン末端検査

従来の検査が主に生産ラインの最後で行われるのに対し、AM では継続的なリアルタイム評価が重要である。これにより、エラーを即座に修正し、材料の無駄を削減できる。

② データの粒度

AM でのセンサーは、従来の製造方法で取得されるデータ以上の詳細な情報を提供する。例えば、AM 造形物のレイヤーが積み重ねられる際の温度は非常に重要であり、これが熱による歪みや材料の性質に影響を与える可能性がある。従って、AM でのセンサーは微細な部位の温度変化をリアルタイムで監視している。

③ 柔軟性対標準化

従来の品質管理は多くの場合、大量生産に適した標準化された手法で進化してきた。AM はその逆で、多様な(多くの場合一回限りの生産に対する)、一貫性を確保するための柔軟性が求められる。

従来の品質管理が基本となる一方で、AM 特有のテクニックは、その複雑性を反映している。リアルタイムの監視、緻密なデータ分析、高度な適応性の組み合わせによって、AM の品質保証は他と一線を画し、厳格な基準にも対応しつつ進化し続けている。

(3) 潜在的な落とし穴

① 過度なリアルタイムモニタリング依存

リアルタイム分析は即時フィードバックを提供するものの、材料の長期的な挙動を一概に把握できないことがある。例として、内部材料の不整合から生じる長期的な応力は、即座には明らかにならない場合がある。

② 不一致な材料バッチ

厳格な材料特性評価を施しても、バッチ間での不一致が部品の品質にばらつきを生む可能性がある。特に、サプライヤーの変更や保管条件が影響する場合がある。

③ 装置の不適切な校正

AM 装置が正確に校正されていない場合、生産過程に誤差が発生する可能性がある。例えば、レーザーアライメントやプリントヘッドの微細な位置ずれが部品の品質に悪影響を与える。

(4) オーダーメイドソリューション

① 製造後のストレステスト

即時の品質検査だけでなく、サンプル部品に対する製造後のストレステストを定期的に行うことで、長期的な信頼性問題を特定できる。

② 材料サプライヤーとの品質協定

詳細な品質協定を材料サプライヤーと結び、材料ロットの一貫性を確保する。

③ 機器の定期メンテナンスと校正

厳格なメンテナンススケジュールを確立し、機器の最適状態を維持して生産ミスを減少させる。

4.2 先端 IT 技術との融合

(1) AM 品質保証強化における IT の貢献

高度な情報技術(IT)はAM品質保証において不可欠な要素である。製造プロセスのデジタル化、高度なデータ分析、機械学習、相互接続されたデバイスの組み合わせがAM品質管理に新局面をもたらす。

① データ分析と機械学習

製造工程から得られる複数のデータを分析し、機械学習アルゴリズムを用いて潜在的な欠陥を予測し、最適化を提案できる。

② デジタルツイン技術

物理的な AM マシンのデジタルレプリカを生成する。このデジタル環境で AM プロセスをシミュレートし、潜在的な問題を特定し、実生産前に修正できる。

③ モノのインターネット(IoT)

連携したセンサーやデバイスはAMプロセス中に連続的なデータストリームを供給する。このデータを集約することで、リアルタイムで品質閾値違反が発生した際に即座に対処できる。

(2) 特定の IT ソリューションからの洞察

Fusion 360 などの AM 環境で設計、シミュレーション、製造を一体化するプラットフォームが重要である。これらは AM に特化した部品設計を容易にし、全段階での品質検査を一元化する。加えて、産業用 IoT 特化プラットフォームの使用により、機器データを実用的な洞察に統合し、AM 品

質保証を強化する。

先端 IT 技術と AM の統合により、データ主導の強固な品質保証アプローチが提供される。デジタルプラットフォーム、分析手法、相互接続されたデバイスを用いて、AM の専門家は常に確立した品質基準を満たす、もしくはそれを上回る成果を達成できる。

5. AM 導入における品質保証の役割

5.1 知識主導型の加速化

先進製造技術の時代でも、知識は非常に価値のある資産である。先端 IT 技術と高度な製造知識の融合は、日本の産業構造における AM 採用の方向性に顕著な影響を与える可能性がある。精緻な職人技とものづくりの哲学が評価される日本において、AM の導入は技術的な力量と歴史的な製造方法との調和を必要とする。

知識の蓄積と伝達を促進する環境の整備が、この調和の基盤である。AM の先駆者と伝統的な製造業の精鋭との連携により、AM の革新的な用途と日本の製造業の伝統とが繋がり、洞察力の高い対話が生まれる。また、産業フォーラム、シンポジウム、AM 専門のセンター・オブ・エクセレンスが、知識交換の場として機能し、AM 採用を促進する。

5.2 AM 導入の日本版ロードマップ

AM の変革的な可能性を最大限に活用するには、戦略的かつ実用的なロードマップが必要である。その核心には、品質保証に対する強固なコミットメントがある。このコミットメントは日本の完璧主義にも一致し、また AM の普及を促進する触媒ともなる。

品質保証を基軸に据えた戦略として、以下の点が

重要である。

① 能力開発

AM 専門の研修プログラムを展開し、作業者が AM プロセスと品質基準に対する深い理解を得られるようにする。

② 規格調整

国際 AM 規格と日本の製造基準を精密に調整し、AM の成果が全球規模で競争力を持つようにする。

③ 共同研究

AM の品質保証技術の改善と革新に焦点を当てた研究を推進する。

④ インフラ整備

先進の AM ラボと試験施設に投資を行い、日本の品質に対するコミットメントと、AM 技術の最前線である意志を強調する。

6. 結論および今後の展望

6.1 日本の AM 進化の予測

日本は積層造形 (AM) の世界的な進展において重要な岐路に立っている。技術的な適用性と製造業の遺産との融合によって、日本は独自の道を築いている。潜在的な課題は多く、それらは障壁ではなく、進化の指針と考えられる。この進展の核心は、品質保証に対する継続的な献身である。このコミットメントにより、日本の製造業は AM の多様な用途で世界と競合できるようになる。

6.2 ロードマップの実施と調整

本稿で提案されたロードマップは、品質保証を中心とした AM 導入の方策として参照されるべきである。このロードマップの実施と調整は、技術の急速な進

展と市場ニーズの変化に応じて、柔軟に行われるべきである。最終的に、日本が AM 技術におけるリーダーシップを確立するためには、品質保証に対する広範で継続的なコミットメントが不可欠である。

謝辞

本研究の深化に寄与して下さったみなさまに感謝の意を示します。彼らから共有された専門知識は、本研究において不可欠な要素であり、多くの洞察をもたらしてくれました。

最後に事業戦略本部の強力なサポート体制に深く感謝します。先進的な IT テクノロジーと専門的な製造知識を提供していただき、本研究をより有意義なものとして高めてくれました。

以上の全ての支援に対して、心より感謝申し上げます。

<参考文献>

- 1) 科学技術イノベーション総合戦略(平成 26 年～30 年、閣議決定)
- 2) 令和元年度 特許出願技術動向調査 結果概要 3D プリンタ(令和 2 年 2 月、特許庁)
- 3) DINSPEC17071
- 4) ISO_ASTM_DIS_52920
- 5) ISO_ASTM_52904_2019