JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	社会システムの構造がイノベーションの普及プロセスに及ぼす影響：金属AM (Additive Manufacturing) 技術における事例研究
Author(s)	辻, 大輔; 内平, 直志
Citation	年次学術大会講演要旨集, 36: 872-876
Issue Date	2021-10-30
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/17859
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

JAIST
JAPAN ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

２Ｈ０６

社会システムの構造がイノベーションの普及プロセスに及ぼす影響

―金属 AM（Additive Manufacturing）技術における事例研究―

○辻 大輔（北陸先端科学技術大学院大学）
内平 直志（北陸先端科学技術大学院大学）

1. はじめに

デジタルとハードが結実した次世代のものづくり技術として AM（Additive Manufacturing：3D プリンティング）への期待が高まっている。AM は、一般的には「3D プリンタ」の言葉で人口に膾炙しており、現在進行中の第四次産業革命においても重要な要素の一つとされ（Giovanna et al. 2020）、今後の Cyber Physical System 時代を構成するキーテクノロジーであり、我が国日本の産業競争力にとっても重要である。中でも近年、産業界で本格的な実用化が期待されているのが金属 AM 技術である。従来の鋳造や機械加工といった既存製法では実現不可能だった高付加価値な金属部品やサービスの実現に期待が高まるが、普及に向けた議論は自然科学領域における技術的な研究が中心であり、社会科学領域における研究は不足しているが、今後の本格的な普及には、技術的な課題克服に加え、産業全体でイノベーションをどう受容していくかと言った学際的な視点からの議論が求められている。

本研究では、イノベーション普及の導入期を迎える金属 AM の普及に向けた課題を、普及の舞台となる金属の素形材産業という社会システムとの関係性に着目し調査・分析する。

2. 金属 AM 技術の概要

金属 AM は、狭義の意味では金属の積層造形プロセスを中心とする素形材技術を指すが、広義の意味では、前工程である製品の企画・設計や、後工程である熱処理や表面処理も含めた一連のバリューチェーンを示すと考えるのが妥当である。それは、金属 AM が素形材技術のみならず、図 1 に示す通り多くの要素技術によって構成された複合技術であることからも言える。また、金属 AM は最終的な製品形状をそのまま、或いは仕上げ加工が殆ど不要な状態の素材形状を作る、所謂ニアネットシェイプの「精密な素形材技術」であり、現時点では製品設計から製造完了までトライ&エラーによる検証が必要な「すり合わせ型の技術」であると言える。また、技術的な特徴から、生産数量は「少量生産」、製造リードタイムは「短納期」、製品形状や機能は「複雑微細で AM ならではの付加価値」を有するアプリケーションが望ましい。このことからも、従来の量産技術とは異なる提供価値があると同時に、それらを実現するための技術的な課題を内包

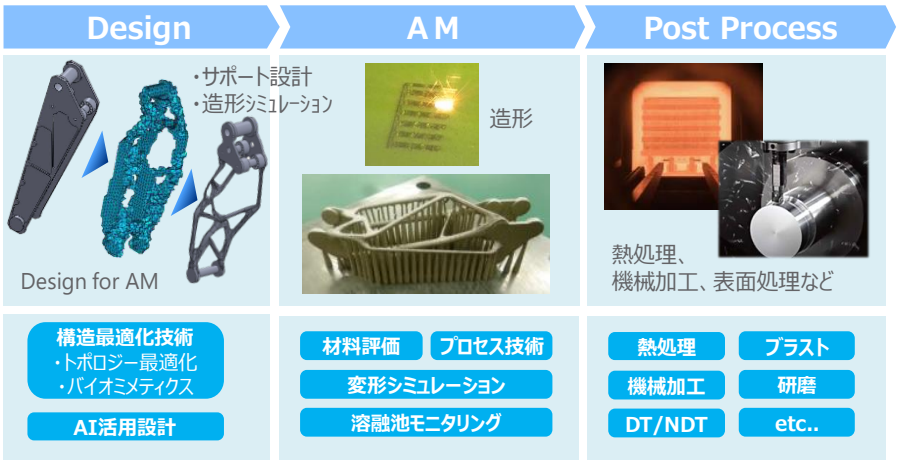

図 1　金属 AM の設計・製造プロセスと関連技術

していると言える。

3. 先行研究

本研究と関連するイノベーションの普及理論や、イノベーションと社会システムの関係性、企業の知識吸収能力に関する先行研究とその課題について紹介する。

まず、イノベーションの普及事象について主に B2C の製品を対象に体系化を試みた研究として Rogers（2003）による研究が挙げられる。Rogers（2003）は、イノベーションの普及に関係する 4 つの要素の一つとして「社会システム」を挙げており、社会システムを「イノベーションの普及に関与する成員（イノベーションの提供者や採用者など）によって構成される集団」と定義した上で、社会システムの構造がイノベーションの普及に影響を与えることを示している。ここで、社会システムにおける構造とは、「社会システム内部の成員のパターン化された配置」であり、社会システムにこの構造が存在することによって、社会システム内の個々人の行動に規則性と安定性がもたらされることも指摘している。イノベーションと社会システムの関係性に関する研究として、三藤（2007）は「イノベーション・プロセスが進行するなかで、イノベーションと社会システムは共進化しつつ動的に発展する」と指摘し、双方は独立したものではなく、互いに影響を及ぼし合いながら変容していくものであると指摘している。これら先行研究では、イノベーションの普及にとって社会システムが果たす役割や影響が大きいこと指摘している。一方でこれら先行研究は、イノベーション側における支配的設計の誕生と、社会システム側におけるクリティカルマスの形成という両事象の相互影響を指摘するものであり、社会システムを一つの群として捉えるマクロ的な視点が中心の理論であり、社会システムの内部に存在するアクター同士の関係性が不明瞭であり、「社会システムの構造」がイノベーションの普及にどのような影響を及ぼしているかの視点が不足している。

社会システムの構造とイノベーションの関係性については、武石（2003）及び具ら（2008）が、自動車産業を事例に企業の保有する知識やノウハウに着目した先行研究を行っており、中核企業（自動車メーカ）が自社の領域を超えて部品サプライヤの知識やノウハウを保有していることを指摘し、社会システムの構造（内部のアクターの知識やノウハウ）がイノベーションの普及に影響することを指摘している。しかし、これら先行研究はイノベーションの普及よりもイノベーションの創出プロセス（技術の黎明期である研究開発フェーズ）に焦点を当てており、イノベーション普及の導入期における社会システムの内部構造に起因した影響を明示的に説明していない。

また、イノベーションの普及における知識・ノウハウの吸収能力（Absorptive Capacity）（Cohen & Levinthal 1990）に関する研究として、原田（2000）は日本の中小企業への NC 工作機械の普及事例から、既存技術における過去の経験が新技術の採用・活用に必要となる技術的能力の付与に影響を及ぼすとし、企業が既存技術によって経験・獲得する吸収能力の重要性を指摘している。しかし、既存技術の経験と新技術の特性が具体的にどのような関係性にあるのか、その影響と社会システムの関係性についての明示的な説明が成されていない。

よって本研究では、先行研究のイノベーション普及理論で示された「社会システム」や「知識吸収能力」の概念や理論を踏襲しつつ、社会システムの構造がイノベーションの普及に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

4. 調査方法

金属 AM が普及する素形材産業に関する文献調査及び、日本の金属 AM 業界に従事する企業の実務者 6 名を対象にインタビューを実施し、その結果を分析することで、素形材産業における社会システムの構造が金属 AM の普及に及ぼす影響を調査した。表 1 にインタビュー対象者 6 名を示す。設問は、金属 AM の普及における課題に関し、「テクノロジーに起因する要因」、「所属する業界に起因する要因」、「所属する企業に起因する要因」の 3 つの視点で質問を行い、回答が技術的な一般論や、所属企業独自の視点だけに偏らないよう配慮した。インタビューは半構造化インタビューを採用し、得られた意見をテーマティック・アナリシス法（TA：Thematic Analysis）によって分析した。なお、本研究では Boyatzis（1998）が提案した TA 法を土屋（2016）が解釈・解説した方法に従って分析を行なった。

表 1　インタビュー対象者

対象者	AM 技術業務の従事年数	所属企業の事業分類	担当事業・業務	インタビュー日時	場所・形式
A	5	重工メーカ	航空宇宙機器の設計・開発	2021-6-29 18:00-19:00	オンライン
B	5	総合電機メーカ	材料技術の研究職	2021-6-30 18:00-19:00	オンライン
C	7	自動車メーカ	材料・プロセス技術の研究職	2021-7-1 15:00-16:00	X 事業所（対面）
D	5	装置代理店兼サービスビューロ	造形エンジニア、装置オペレータ	2021-7-2 19:00-20:00	Y 事業所（対面）
E	13	工作機械メーカ	(元)AM 装置開発職、(現)営業職	2021-7-5 20:00-21:00	オンライン
F	6	材料メーカ	粉末材料の開発職	2021-7-6 19:00-20:00	オンライン

5. 調査・分析結果

5.1. 素形材産業の調査結果

日本国内の素形材産業の概略を図 2 に示す。素形材産業の特徴として、大きく 3 つのレイヤー（川上・川中・川下）に分かれた水平分業構造を形成しており、川上から川下に向かって素材製造、成形、部品組み立てという流れが存在することが挙げられる。金属 AM は最終製品形状（ニアネットシェイプ）が可能な素形材技術であり、且つ少量生産に適している技術である。この特徴から、川上産業のような素材の大規模製造・販売を行うアクターが金属 AM 装置を直接保有しビジネスを行うことは難しく、現時点で金属 AM 装置を保有し部品を製造するアクターは、素形材産業において最終製品を担当する川下、もしくは川中の一部の部品製造業であることが分かった。

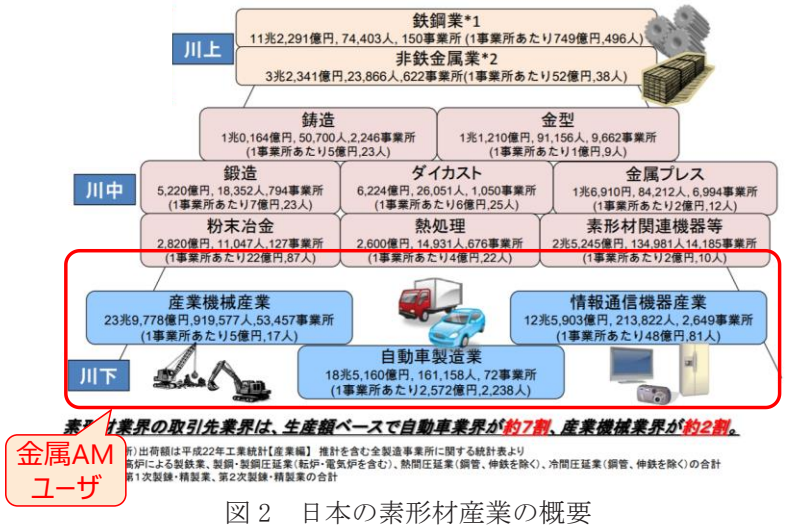

図 2　日本の素形材産業の概要

（経済産業省（2013）の図に著者加筆）

5.2.　インタビューデータの分析結果

次に、帰納的 TA 法によるインタビューデータの分析結果の概要を表 2 に示す。有識者 6 名へのインタビュー結果、66 件の切片及びコードが得られ、そこから金属 AM 技術の普及に対する課題として 18 のカテゴリーと 4 つのテーマが抽出された。（表 2 では 66 件の切片及びコード情報は省略）

表 2　帰納的 TA 法による分析結果

テーマ	カテゴリー
①人材や知識	AMの全般的な知識やノウハウ
	素形材製造の知識やノウハウ
	デジタル技術の知識やノウハウ
	人材育成や確保
②企業内または産業全体の構造	社内の組織構造
	産業構造やサプライチェーン
	オープンイノベーション
	市場動向や規模
③企業の経営マネジメントや風土	企業文化や風土
	リーダーシップやトップマネジメント
	経営判断の柔軟性
④テクノロジー	品質管理、品質保証
	製造条件の確立
	テクノロジーの成熟度
	既存技術との対比
	Design for AM
	生産性やコスト
	ソフトウェア

抽出された 4 つのテーマを概説する。①人材や知識では、新たなイノベーションである AM 技術の活用に必要となる素形材の製造技術やデジタル技術の知識及びノウハウが不足していること、及びその人材育成や人材確保が十分でないことが挙げられた。②企業内または産業全体の構造では、AM技術の普及には、現状の企業内における組織構造や企業を超えた横断的な知識・ノウハウが必要なこと、オープンイノベーションによる積極的な外部知識の獲得が必要なことが挙げられた。③企業の経営マネジメントや風土では、新たなイノベーションに挑戦する風土やそれを舵取りするトップマネジメントの欠如が挙げられた。④テクノロジーでは、現時点で技術的に発展途上であるが故に、既存技術と比較しネガティブな評価となる点や、将来に対する不確実性が障壁となってることが挙げられた。

6.　考察とまとめ

素形材産業に関する調査では、既存技術の発展と共に形成された水平分業構造と、それに伴う知識・ノウハウの固定化が確認され、各レイヤーで保有する知識・ノウハウに濃淡があることが確認できる。具体例として、今回調査した金属 AM のケースでは「素材の製造」及びトポロジー最適化等の「高度な設計技術」に関する知識・ノウハウの不足が普及の障壁になっていることがインタビュー結果の分析から確認できる。特に、「素材の製造」に関する知識・ノウハウは、金属 AM のユーザ企業が従来のビジネスにおいて経験に乏しく、それを効率的に獲得する知識吸収能力に乏しいため、ユーザ企業が知識・ノウハウを獲得に難航していることが確認できる。

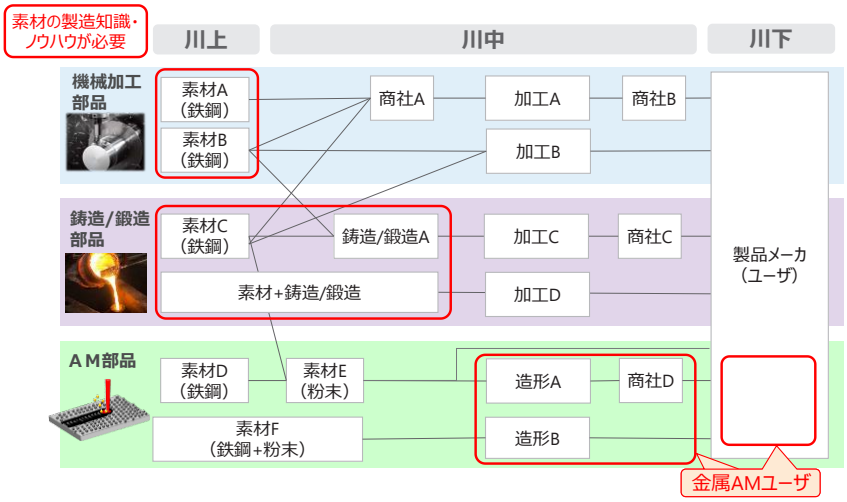

図 3　素材の製造知識・ノウハウが必要なアクター

これらを総合的に纏めると、本研究により以下の事項が示唆される。

a） 金属の素形材産業における社会システムの構造及びその特徴として、既存技術が普及・成熟する過程で川上・川中・川下というレイヤー構造が形成され、その各レイヤーには役割に応じた固有の知識・ノウハウが蓄積し固定化していることが確認された。

b） 金属 AM の活用には、素形材の製造技術や、トポロジー最適化等の高度な製品設計技術（Design for AM）と言った自社に無い知識・ノウハウの吸収が必要である。

c） 金属 AM の普及の担い手となる川下レイヤーのユーザ企業は、主として製品設計およびサプライヤから調達した部品の最終組立や製品全体のエンジニアリングに関する知識・ノウハウを有する一方で、金属 AM に必要な知識・ノウハウの一部（b）が不足していることが示されており、また、それが普及の障壁となっている。

d） 上述（c）で示した事象が発生する要因として、金属 AM のユーザ企業として必要となる知識・ノウハウ（b）を効率的に吸収する知識吸収能力が乏しいためと言える。

以上から、既存技術が普及する過程で、産業内のアクターが階層構造化し、知識・ノウハウが偏在的に固定化（社会システムの構造化）が発生し、その構造が新技術の吸収に必要な企業の知識吸収能力の有無に影響することを明らかにした。これは従来、先行研究にて明示的に説明されてこなかった社会システムの構造が普及に与えるメカニズムの一例を提示出来たことで、これまでのイノベーション普及理論における社会システムの理論を補強・拡張する一助となったと考える。

なお、本研究では金属 AM という一つの事例を対象にしているため、他のイノベーション（例えば射出成形技術など）を検証することで他イノベーションへの汎化の可能性について今後の検証が必要である。

参考文献

Boyatzis, Richard E. (1998) “Transforming qualitative information: Thematic analysis and code development”, sage.

Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. Administrative Science Quarterly, 35(1), 128–152.

Giovanna Culot, Guido Nassimbeni, Guido Orzes, Marco Sartor (2020) “The future of manufacturing: a Delphi-based scenario analysis on Industry 4.0,” Technological Forecasting and Social Change, 157: 120092

Rogers, E. M. (2003) “Diffusion of innovations”, Fifth Edition, Free Press（三藤利雄 訳, 2007, 『イノベーションの普及』, 翔泳社）

Zahra, S. A., & George, G. (2002). Absorptive capacity: A review, reconceptualization, and extension. Academy of Management Review, 27(2), 185–203.

具承恒, 椙山泰生, 高尾義明, 久保亮一 (2008) 「系列型エコシステムの形成とプレーヤーの役割―日本の自動車産業におけるイノベーションシステムと技術移転」, 研究・技術計画学会第 23 回年次学術大会, 23 巻, 961-964

経済産業省 (2013) 『新素形材産業ビジョン策定委員会報告「新素形材産業ビジョン～我が国のものづくりを支える素形材産業、今後の目指すべき方向性を考える～」』

土屋雅子 (2016) 『テーマティック・アナリシス法――インタビューデータ分析のためのコーディングの基礎』ナカニシヤ出版

延岡健太郎 (2006) 『MOT[技術経営]入門』, 日本経済新聞社

原田勉, 米川進 (2000) 「NC 工作機械の技術普及：旧技術による補完的効果」, 通商産業研究所 DISCUSSION PAPER SERIES

三藤利雄 (2007) 『イノベーション・プロセスの動力学 共組織化する技術と社会』, 芙蓉書房出版