

レーザー加工技術の発展に関する研究

—レーザー加工のイノベーション創出—

及 川 昌 志

東洋電装株式会社 (〒 230-0053 横浜市鶴見区大黒町 9-7)
masashi@gol.com

Study on Innovation of Laser Material Processing Technology
— Innovation Creation and Organization Formation from Viewpoint of Principle of Manufacturing —

OIKAWA Masashi

(Received September 12, 2025)

This paper considers the innovation mechanism of laser material processing from the perspective of the chain-linked model, and discusses it from the perspective of the formation of formal organizations.

Key words : laser material processing, innovation, organization, knowledge, principle of manufacturing

1. 緒 言

レーザー加工は材料にレーザーを照射して生じる物理的変化や化学的変化を利用した技術である¹⁾。レーザー加工が使われた製品は私たちを取り囲み、家電製品や自動車に限らず、神社の絵馬や御札の製作にも使われ、レーザーで調理した料理²⁾も登場している。レーザーによるテーラードブランク溶接³⁾は自動車の軽量化による燃費改善と衝突安全性強化に寄与し、社会的損失の低減にも貢献している。

レーザー加工は、新しい発振器や伝送集光光学装置などの汎用技術と応用技術が相互に作用しながら発展しており、萌芽技術、途上技術、成熟技術のすべてが同時進行していると言われている⁴⁾。このようにレーザー加工はものづくりを通じ社会にも影響を与えるような技術革新を続けている。

ごく初期のレーザー加工機は出力は低く、出力の時間的分布や空間的分布が不安定で制約も多く、このような中で「レーザーによってどのような加工ができるのか、レーザーにしかできない加工は何か」が議論され、実験と理論化が行われてきた⁵⁾。そこには多くの研究者や技術者が集まり組織が形成され、知識創造の過程も見ることができ、そこで創造された知識は、レーザー加工の実用化に大きく貢献している。

人々は組織での諸活動によって知識を創造することから、組織形成とイノベーションの創出の関連を明らかにできれば、効率的なイノベーション創出に貢献できると考える。

2. 従来の研究

2.1 イノベーションの定義

従来の研究と本研究の位置づけを示す前に本寄稿で用いる語句の定義を示す。

科学とは「事実の測定、事実と理論の調和、理論の整備」⁶⁾、

研究とは「科学を生み出す、あるいは見いだす行為である」、技術とは「人間の目的を達成する手段、実践方法とコンポーネントの組み立て、文化に役立てることができる装置と工学の集合体」⁷⁾、開発とは「技術を新たに作り出すこと」という解釈にしたがう。

イノベーションとは「しばしば技術革新と訳されることもあるけれども、新しい技術にとどまらず、製品・サービス、またはビジネスシステムの発明や開発から、人々の生活や行動に変化をもたらすような、価値を創造・実現する行為を指す」⁸⁾という定義にしたがう。

2.2 知識の定義

知識は「個人の信念が人間によって“真実”へと正当化されるダイナミックなプロセス」、簡潔には「正当化された真なる信念」と定義されている⁹⁾。なお、知識と情報の違いは次の3点である。第一に知識は情報と違い信念やコミットメントに密接に関わり、ある特定の立場、見方、あるいは意図を反映している。第二に知識は情報と違って、目的を持った行為に関わり知識は常にある目的のために存在する。第三に知識と情報の類似点は、両方とも特定の文脈やある関係においてのみ意味を持つことである¹⁰⁾。

2.3 組織の定義

組織とは「二人以上の人々の意識的に調整された活動ないし諸力のシステム」であり、組織の形成に必要な要素は協働意思、共通目的、コミュニケーションである。協働意思とは、個人の組織への参加意志と貢献の程度であり、共通目的とは組織全体の目的である。コミュニケーションとは、協働意思と共通目的を結ぶ情報の伝達で、会話や会議のことである。非公式組織は組織形成に必要な要素を満たさない組織で、個人的な目的や動機を持つ人々の集まりである^{10, 11)}。この非公式組織が契機となり公式組織が形成さ

れる。なお組織の機能は分業と調整である^{10,11)}。

2.4 技術革新・イノベーション創出のモデル

本節では、技術革新やイノベーションの契機とその場所、また市場までの経路を示すモデルを解説する。技術革新やイノベーションが創出する契機には、①研究者や技術者の個人的な思いの他に、②技術は進化、革新するという決定論にもとづくモデルがある。ここでは後者②のひとつである【焦点化装置】、リニアモデル、および連鎖モデルを解説する。

(1) 【焦点化装置】

製造現場での改善活動は、工程のボトルネックを明らかにし、課題を抽出し、解決を試みるのが目的である。そこで課題を解決できないと、既存の知識に解を求めたり、あるいは技術開発を行うようになる。また、製品の故障が市場で明らかになると設計や製造方法の見直しが行われ、それでも解を得られないと技術開発が行われることがある。その一方でセレンディピティと呼ぶ偶然のアイデアの創出も技術開発の契機と言われるが、問題意識を持つ当事者の外的アイデア創出は考えにくいという指摘もあり、技術均衡論にもとづく【焦点化装置 (Focusing device)¹²⁾】が合理的なモデルであるとされている。

このモデルの前提は、技術とはシステムで、相互依存する複数の階層的なサブシステムで構成されるということである。そして、サブシステムが健全に機能すれば、システムは均衡が保たれる。何らかの原因で特定のサブシステムが故障すると、システムの均衡は崩れ、システムは機能しなくなる。当事者はシステムの均衡を回復させようと修理や改良、技術開発を行うようになる。そこには資源が投入され、システムは均衡に向かうようになる。このメカニズムを【焦点化装置】と呼ぶ。たとえば、レーザー切断機の実用化を目的にレーザーを高出力化すると、集光レンズの耐光性向上が必然となる。これは意図的なシステムの不均衡で、これが技術開発の契機となる。

(2) リニアモデル

リニアモデルには、技術プッシュ型と市場プル型がある。前者は「研究開発→市場投入」であり、後者は「市場の要求→研究開発→市場投入」である。このモデルでは、技術革新やイノベーション創出の起点が一義的に決められ、市場投入までの流れも一方向に決められている。最初のレーザー加工の実用化までは技術プッシュ型であるものの、レーザー加工の産業上の有用性の認知が広がると、市場の要求を起点に研究開発が行われるという市場プル型となる。このようにリニアモデルでは、技術革新やイノベーション創出の起点や実用化までの流れ十分に説明できないことが指摘されている。この問題を解決する(3)に示す連鎖モデルが受け入れられるようになった。

(3) 連鎖モデル

連鎖モデル (Chain-linked Model)^{12,13)}の概要図を Fig. 1 に示す。図には、中心的連鎖 (Central Chain of Innovation) と呼ぶ③-②-①の経路がある。起点は市場の潜在的欲求 (Potential market) であり、そこから発明または分析的設計 (Invent and/or produce analytic design)、詳細設計とテ

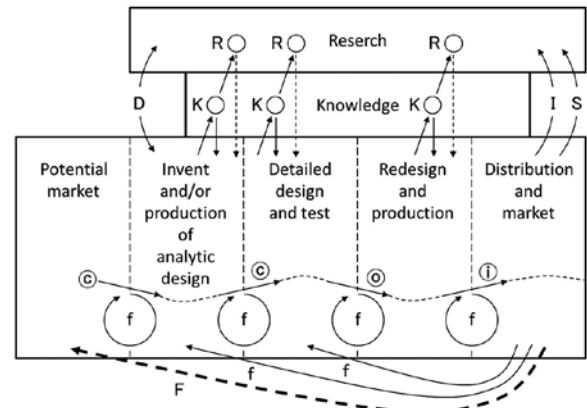


Fig. 1 Schematic diagram of a chain-linked model

スト (Detailed design and test)、再設計と生産 (Redesign and produce) という段階を経て、流通と市場 (Distribute and market) へと続く。リニアモデルとの差異は、図中 f と F のフィードバックループがあること、知識 (Knowledge) と研究 (Research) の領域が、中心的連鎖に隣接することである。発明または分析的設計で生じた課題は、既存の知識に頼り課題解決を試み (K)、それでも課題が解決しない際には研究が行われる (R) ことを示している。経路 C は、研究を起点に発明または分析的設計へのつながりである。経路 I は、製品の技術が科学を進展させるという繋がりであり、これには、核磁気共鳴画像法 (MRI) が医学を進展させているというような例に相当する。経路 S は長期研究への企業の援助である¹⁴⁾。

しかしながら、現実のイノベーションは複雑で、連鎖モデルであっても、その複雑さや非線形性を捉えきれないという課題が指摘されている。

3. 本研究の目的

本研究では、レーザー加工技術が発展する初期の段階を分析対象とし、レーザー加工独自のイノベーション創出のメカニズムの解明と、それに関わった組織形成のプロセスとの関連を明らかにし、効率的にイノベーションを創出するための示唆を得ることを目的とする。

4. 本研究の方法

本研究では、日本学術会議から指定を受けた日本学術会議協力学術研究団体 (以下、学会という) が発行する定期刊行物に掲載される学術論文と講演予稿集、企業や研究機関の発行する技報、および研究者へのインタビューから情報を収集し分析を行った。文献や資料の収集には国立情報学研究所の文献検索システム CiNii と、国立国会図書館の所蔵資料検索システム NDL-OPAC を用いた。このような方法では、企業が公表しない研究の成果やノウハウを知ることはできない、開発完了時期と情報公開時期に大きな差が生じる、という問題がある。しかしながら技術の生成や発展の程度を知る目安にできる¹⁵⁾。なお、学術論文と講演予稿集を調査対象とする学会は、レーザー加工普及の初期段階につ

いては限定せず、ある程度普及した段階からはレーザー加工を主に扱う学会に限っている。また、調査対象を国内とした理由は、1978年に開始した通商産業省(当時)主管の大型工業技術開発制度(通称大プロ)の一環で実施された「レーザー応用複合生産システム」プロジェクトを契機に、レーザー加工の産業界での利用によって、1990年代まで世界のレーザー加工市場を国内メーカが席巻したことである。この日本が興したイノベーション成功のプロセスを分析することが、本研究の有効な手段であると考えた。なお、文中では基本的に「レーザー」を用いるが、参考文献の標記などは原文にしたがい「レーザー」を用いている。また、文中の企業名は基本的には原文のままとしたが「株式会社」などは省略した。

5. レーザ加工技術の発展

文献検索システムで、キーワードをレーザーと光学メーザに設定して検索した、学術論文、学会主催の講演予稿集、学会誌に掲載された記事の発行数を発行年ごとに Fig. 2 に示す。1979年を境に発行数が急激に増加する、これは世界的にレーザー加工の研究開発が1975年頃からはじまり、レーザー加工の本格的な産業応用が1980年に急速に発展した¹⁶⁾ ことと一致する。この理由は高出力のレーザー加工装置の出現と普及である¹⁷⁾ とされる。実際に1973年には1 kWクラスの炭酸ガスレーザーが販売されるようになり、1975年前後を境にレーザー発振出力が増加する傾向と一致する (Fig. 3)。

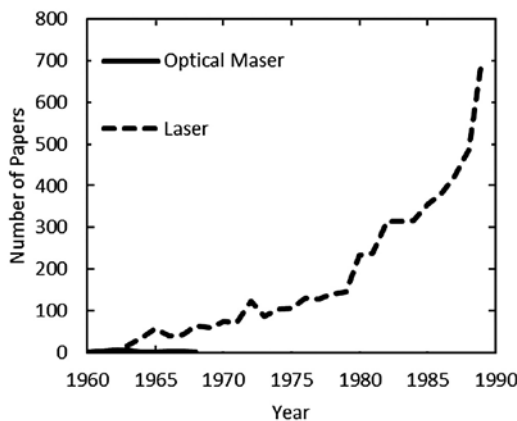


Fig. 2 Number of papers of optical maser and laser

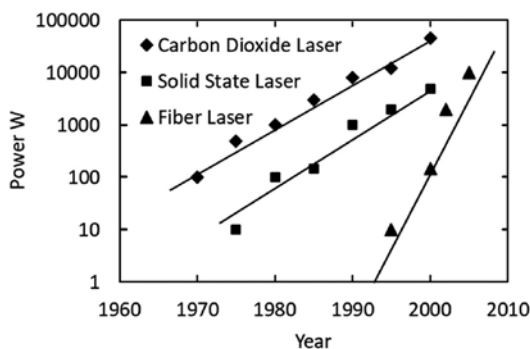


Fig. 3 Development of laser output power

5.1 レーザ加工のはじまり

レーザー加工は、1960年7月7日のMaimanによるレーザー発振の報道関係者への発表の場から広がった。そこでは安全剃刀の刃への穴あけや空中に浮かぶ風船を割るデモンストレーションが行われ、レーザー加工の実現の可能性が示された。その翌日に発行されたNew York Timesには「レーザーは月と地球の距離の測定、宇宙空間での利用、通信手段、科学研究機器、そしていわゆる殺人光線として使うことも考えられる¹⁸⁾」とレーザーの応用範囲の広さが記されている。

5.2 日本のレーザー加工のはじまり

日本での初めてのレーザー加工の学術的な報告は、1963年4月に開催の日本物理学会年次大会で行われ、予稿集に掲載されている^{19,20)}。論文は1963年7月応用物理学会誌に掲載の2編^{21,22)}である。この論文を掲載ページ順に示すと、第1の著者は日本電気に所属する林一雄、他である。1961年7月に自社開発したルビーレーザー²³⁾を用い、板厚0.3 mmのステンレス鋼板のレーザースポット溶接と、Mo, Ge, Si, 真鍮, グラファイト, ダイヤモンドへの穴あけを報告している。Moの穴あけでは焦点距離が異なるレンズを用い、焦点位置とデフォーカス位置での加工性を検討している。レーザー発振器の最大パルスエネルギーは5 J/pulse, ピーク出力は15 kW, 発振効率は最大で0.05%である²¹⁾。発振効率は低くビーム品質も悪いものの、このようなレーザー発振器を搭載したレーザー加工機は研究開発用途で普及がはじまっていた。

第2の著者は理化学研究所に所属する難波進、他であり、理化学研究所で1962年に試作したルビーレーザーと顕微鏡の対物レンズを用い、Ni箔への穴あけを行い、レンズの焦点距離によって加工特性や加工効率が異なることを記している²²⁾。電子ビーム加工との差異も論じ、そこではレーザー加工は大気中で可能なこと、絶縁物にも加工できることなどレーザー加工の優位性を示している。またレーザー加工では加工雰囲気も重要であることや、実用化にあたってはレンズの耐光性の向上、レーザー発振器の高出力化、加工物上で高い位置制御性が必要となることを述べている。

1963年6月に発行のエレクトロニクス誌では「レーザー技術の現状」をテーマにした座談会が紹介されている²⁴⁾。そこには、神山雅英(東京大学)、鶴宏(日本電気)、難波進(理化学研究所)、稲葉文男(東北大学)、宅間宏(東京大学)が出席し、レーザー技術の現状、発振効率、加工や通信への応用、物性研究への応用を議論している。加工分野では難波進と宅間宏の発言が多く、レーザー加工機の問題として、高出力化、連続発振、ビーム品質の向上、レンズの長焦点化、加工物上での位置決め精度の改善が必要であることを指摘している。またレーザー加工のためには、それに適したレーザーを開発する必要性にも述べている。

1963年10月には精密機械(現、精密工学会誌)で東京大学工学部の宅間宏がレーザー加工を解説している²⁵⁾。レーザー発振原理、熱伝導論からCu箔の穴あけ加工に必要なレーザー照射エネルギーの導出、レーザー加工の課題とその将来像を述べている。レーザー加工は穴あけと切断に有効で、任意の

場所や形状に加工するためレーザーを高速で偏向させる光学装置が必要なこと、加工対象を広げるため高出力のレーザーが必要なこと、加工品質の向上のため真空中や液中で加工すること、加工効率向上のため酸化発熱反応を利用すること、深い穴あけのために長焦点の光学系が必要なことを述べている。

5.3 1964年から1969年までのレーザー加工

難波進は、1964年3月に日本物理学会春季分科会で「電子ビーム加工とレーザー加工」²⁶⁾を報告し、これに続き1965年には「レーザー加工」を溶接学会誌²⁷⁾、日本物理学会誌²⁸⁾、電気学会雑誌²⁹⁾、精密機械³⁰⁾、1966年には「加工における電子ビームとの比較」³¹⁾を金属に、1967年には科学朝日に「加工用の大出力レーザーとその将来性」³²⁾を報告している。なお難波進は1950年から理化学研究所、1967年からは大阪大学基礎工学部にも所属している³³⁾。

東京大学の植村恒義、宮崎俊行らと日本電気の林一雄らの共著「高速度写真によるルビーレーザー加工機構の解析(第1報)」³⁴⁾が1965年10月に精密機械に掲載された。林一雄は同月に電子技術に「レーザー加工技術」³⁵⁾を報告している。植村恒義らは前述の第1報に続き、1965年4月に日本物理学会で第2報³⁶⁾、1966年3月に第3報³⁷⁾、1969年3月に「高速度写真によるレーザー加工機構の解析研究」³⁸⁾と報告を続けている。

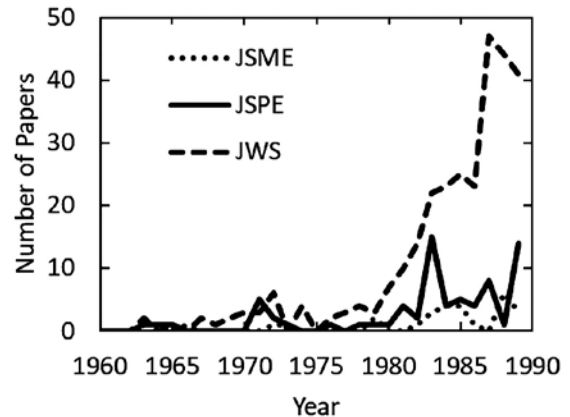
荒田吉明、宮本勇らは1967年3月から溶接学会で続けて報告を行っている。「大出力連続レーザーの発生とその特性」³⁹⁾、同年10月「大出力炭酸ガスレーザーの熱源的研究(第2報)」⁴⁰⁾、1968年3月「大出力炭酸ガスレーザーの熱源的研究(第3報)」⁴¹⁾、「大出力炭酸ガスレーザーの熱源的研究(第4報)」⁴²⁾である。このレーザー発振器は自らが設計・試作を行っている。炭酸ガスレーザーは1964年に米国で開発されており、高出力化や連続発振が可能で、荒田、宮本らは、アーク溶接では熱源を集中させることができないという問題を解決できるとしている³⁹⁾。

石川憲らは1969年1月にエレクトロニクスに「レーザー加工装置とその応用」⁴³⁾を報告している。石川憲が所属する東芝は1962年にはルビーレーザーを試作したことを公表している⁴⁴⁾。そして1962年度に試作機を東京大学に⁴⁵⁾、1968年には市販機を群馬大学と北海道大学に納入している。

5.4 1970年代のレーザー加工

概ね1970年を境に国内でのレーザー加工の実用化例が増え始める。1960年代は日本物理学会や応用物理学会でレーザー加工を取り上げていたが、実用化例の増加に伴い、発表の中心は精密工学会、日本機械学会、溶接学会に移っていった。Fig. 4にこれらの学会の学術講演大会予稿集の数を年度ごとに示した。精密工学会では生産技術に関連する報告も多く、レーザーによる非熱加工と熱加工を取り扱っていることから、以降は精密工学会と熱加工が中心である溶接学会を中心に記述する。

溶接学会では、1970年代は大阪大学の荒田吉明、宮本勇、丸尾大、他が金属材料の溶接、切断、表面焼き入れの研究



JSME: The Japan Society of Mechanical Engineering
JSPE: The Japan Society of Precision Engineering
JWS: Japan Welding Society

Fig. 4 Number of papers of the main three societies

を行い、論文と予稿集を合わせて28件の報告がある。この他には川崎製鉄、東芝、日立製作所、大阪変圧器からの報告がある。

精密工学会では、難加工材や金属材料の穴あけ、セラミクスや木材の切断へのレーザーの適用の報告がある。また、微細加工である半導体製造プロセスへの適用検討の報告がある。報告者の所属は、中央大学、群馬大学、東京大学が多く計12校、研究機関は理化学研究所、電子技術総合研究所、兵庫県立工業試験場、企業は東芝、三菱電機、松下技研、日立製作所などである。

6. 考 察

6.1 レーザ加工技術のイノベーションモデルの検討

5.2で述べた1963年の林一雄²¹⁾と難波進²³⁾の論文では、難加工材のレーザー加工実験と解析によってレーザー加工現象の理論化の試みが述べられている。これはFig. 1で示す研究(Research)から知識(Knowledge)の経路で、まさに知識創造を示している。

宅間宏、難波進らが出席した座談会²⁴⁾と宅間宏の論文²⁵⁾では、産業分野で広くレーザー加工が実現する可能性を述べている。そこでは2.4(1)で述べた【焦点化装置】が見られ、レーザー発振器や光学装置などの周辺機器を含むレーザー加工システムの実用化時の課題を示している。これは図中の知識(Knowledge)を起点に、発明または分析的設計(Invent and/or produce analytic design)を経由し、中心的連鎖(Central Chain of Innovation)の経路(©-©-①-①)から流通と市場(Distribute and market)という道筋を描いている。レーザー加工技術の理想的な将来像を示し、その技術開発の方向性を示唆している。

5.3で述べたように荒田吉明、他はアーク溶接では熱源を集中できないことや、電子ビーム溶接は大気中ではその特性を発揮できないという技術的課題の解決をレーザーに求め³⁹⁾、【焦点化装置】という技術開発の契機の本質を見ることが出来る。

5.4に示すように1970年代にはさまざまな発振形態のレーザーの実現と発振の安定化が進み、レーザー加工機の普及とともにレーザー加工技術が広まった。ここでは「レーザー加工機はその必要性から目的意識的に造られた従来の機械装置類とは異なり“はじめにレーザー在りき”であり、その後用途が探索されてきた」¹⁷⁾、すなわちレーザーにしかできないことは何か、レーザーによって何ができるかが議論されている。これは研究(Research)から知識(Knowledge)を経て市場の潜在的欲求(Potential market)に至るという連鎖モデルで示されていなかった新しい経路(Fig. 5中の①・②)であると考ええる。

1980年代になるとレーザー加工が多くの産業で広まり定着するようになる。このレーザー加工技術の急速な拡大を次のように考察した。

連鎖モデルは、技術と市場の双方向性を述べているが、現実のイノベーションプロセスの複雑性を表していない。レーザー加工技術のイノベーションも複雑である。連鎖モデルの中心的連鎖をレーザー発振器の進化で考えると、レーザー出力の増加、出力の時間的・空間的な安定性と制御性の向上、発振効率の向上であり、レーザー発振器とは種々の産業に応用できる汎用技術である。光学装置や伝送装置も同様である。

連鎖モデルの中心的連鎖に並行するように、汎用技術が特定の産業で課題を解決し定着し、定着後には、たとえば加工精度のさらなる向上など次のレベルの課題が顕在化するという段階を考えることができ、ここでは応用連鎖と呼ぶ。

この応用連鎖のIからIIIは2.4(1)で述べた【焦点化装置】である。

I. 課題の発生・認識 (Identifying and Recognizing Issues)

既存技術で解決できない課題が市場で発生し、認識される。

II. 技術の検討 (Technology Evaluation)

課題解決のため中心的連鎖にある汎用技術の応用可能性

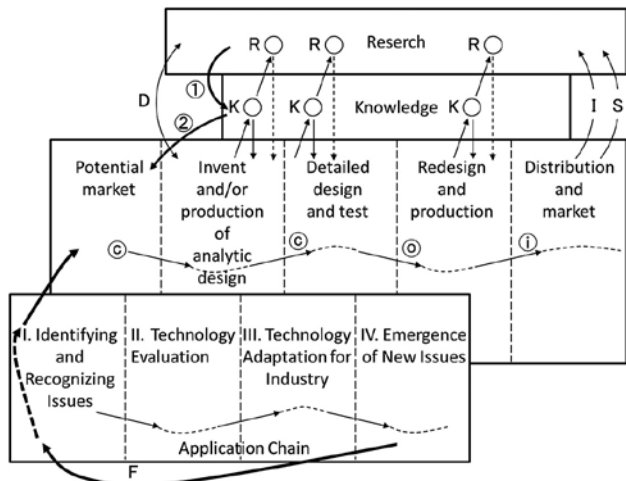


Fig. 5 The relationship between applied chains and chain models (The feedback loop of the chain model is omitted.)

を検討する。

III. 技術の産業への適合 (Technology Adaptation for Industry)

汎用技術を特定の産業向けに適合させるため設計やプロセスを開発する。

IV. 新たな課題の発生 (Emergence of New Issues)

開発した技術が定着し、次のレベルの課題が顕在化する。

この応用連鎖と連鎖モデルの関係を Fig. 5 に示す。中心的連鎖は汎用技術の進化であり、応用連鎖と並行し、螺旋を描き上昇するようにイノベーションが創出すると考える。

6.2 レーザ加工の発展と組織形成

イノベーションの創出とは知識の創造であり、人々の諸活動によって組織的に生み出される¹⁰⁾。そこでレーザー加工技術が発展する過程での組織形成に着目した。

(1) レーザ加工初期の組織形成

1960年7月7日のMaimanによるレーザー発振のデモンストレーションは、小林昭⁵⁾の報告にあるように多くの研究者や技術者に衝撃を与えた。その後にレーザー発振器を手にした研究者は難加工材にレーザーを照射し穴あけ加工などを試みている。そのひとつの例は日本電気に所属する林一雄の論文²¹⁾である。林一雄は1956年から太陽電池に関わる開発を行い、1961年には日本物理学会にルビーメーザに関する研究の報告を行っているが、1963年まで加工の研究に関わる報告はない。林一雄がレーザー加工実験を行った意図は正確には掴めないものの、レーザーを自社開発できるという技術的競争優位性の確保と、Maimanと同じようにレーザーがもつ潜在能力の高さを示したと考えられる。同じ時期に難波進も理化学研究所で試作したレーザーを使った加工実験を報告している²²⁾。難波進は1962年に電子ビームによる微細加工に関する研究を報告しているが⁴⁶⁾、レーザーの微細加工への適用に限らず、多くの学会で報告していること^{26)・32)}からもレーザーがもつ潜在能力の高さを広めようとする意図や、また多くの学会からの報告の依頼もあったと考える。

このように林一雄や難波進は自から開発したレーザー発振器を用いているが、1964年頃には国内数社がレーザー発振器の提供をはじめ、レーザー開発者以外の研究者・技術者も使えるようになっていく。しかしながら、初期のレーザー発振器は出力の時間的分布や空間的分布が不安定で、安定発振のためにはレーザー開発者のノウハウが必要であった。またレーザー発振器の数が圧倒的に少ないためメーカーなどすでにレーザー発振器をもつ組織とレーザーを加工に使用しようとする組織との間に情報交換が行われ、これがレーザー開発者とユーザーによる非公式組織が形成される発端になったと考える。

この好事例として、1964年、精機学会での東京大学の植村恒義、宮崎俊行、他と日本電気の林一雄、他の共同研究をはじめ、東芝と中央大学⁴⁶⁾、東芝と中央大学・東京教育大学・東京農業大学⁴⁸⁾、東芝と東京大学⁴⁸⁾の共同研究が挙げられる。

また、学会では学術講演会で知識創造やコミュニケーションの場を提供するが、当時は事務局もその役目を担っ

ていた。たとえば「応用物理学会は理化学研究所と東京大学工学部に学会事務局が両者に置かれていたことがある」⁵⁰⁾というように非公式な組織の場を提供していたことが記述されている。

ここで示したようにレーザー加工技術発展の初期の非公式組織の形成の発端はレーザー発振器や、すでにある学会という組織によって情報交換の場が提供されたと考える。

(2) レーザ加工に関わる公式組織の形成

非公式組織や小規模な組織では分業に限界があり、得られる知識が限られてしまうことから、独立性のある一定規模の組織の形成が求められる。

1972年2月レーザー加工研究会(現、レーザー協会)が設立⁵¹⁾、1978年レーザー熱加工研究会(現、レーザー加工学会)が大阪大学溶接工学研究所(当時)を中心に研究機関や企業とともに設立⁵²⁾、同年に精密工学会レーザー加工技術分科会⁵³⁾、1980年日本溶接協会大出力レーザー金属加工法研究委員会(HPL委員会:High Power Laser委員会)が設立⁵⁴⁾されている。

レーザーのような新しく多くの用途が想定される技術であっても、その捉え方には個人や組織が持つ焦点化された技術的課題が影響を与えている。レーザー加工研究会では脆性材料への穴あけ、木材のトリミング、切断などレーザーが既存の工具の技術的課題を焦点化する傾向が見られる。レーザー熱加工研究会、日本溶接協会大出力レーザー金属加工法研究委員会では、金属材料の穴あけ、切断、溶接、表面処理などの熱源が焦点化されている。精密工学会は、加工対象と加工形態が広範囲を取り扱っている。焦点化された技術的課題とは、実用化というイノベーションへの起点であり、レーザーという新技術を適用すれば課題を解決できるという考えが一致し、共有化されると、共通目的が作られるとともに組織が形成されるようになる。

(3) 組織形成と技術発展の方向性

焦点化された既存の技術システム、あるいはその一部のサブシステムをレーザー加工技術に代替することで、レーザー加工技術は実用化され、そして発展してきた。この一例は、脆性材料の穴あけ加工での課題は工具の摩耗であり、これはレーザーによる非接触加工が課題解決方法とされ、高ピーク出力の非熱加工領域でのレーザー加工技術の発展に結びつく。溶接技術の課題は溶接品質の確保で、溶接継手の強度を低下させる熱影響層を最小化することや、熱歪による変形の抑制である。この課題を安価に解決するには大気中で集中した熱源を得ることであり、その手段がレーザーであると捉えられ、熱加工領域でのレーザー溶接技術の発展とレーザー熱加工研究会の組織形成のひとつの理由であると考えられる。

レーザー加工に関わる公式組織が形成される以前には非公式組織があり、その共通目的は既存の技術的課題を焦点化した上に作られているため、イノベーションの創出は初期に形成された組織に影響されてきたことがわかる。

7. 結 言

レーザー加工技術が発展する初期の段階を分析対象とし、イノベーションの創出と組織の形成の関連を明らかにすることを試み、次に示すことがわかった。

- (1) レーザ加工技術のイノベーション創出の契機は、既存の連鎖モデルに新たな経路を加えることで説明できることがわかった。レーザー発振器の出現によって、レーザーによってどのような加工ができるのか、レーザーにしかできない加工は何か、という視点から実用に向けた技術的課題を設定し、解決のために新しい知識を創造するという新たな経路である。
- (2) レーザ加工技術のイノベーションのプロセスは、連鎖モデルの中心的連鎖に並行する応用連鎖を加えることで、レーザー加工技術が螺旋を描き上昇するようなイノベーションを創出し続けているメカニズムを説明できることがわかった。
- (3) レーザ加工技術発展の初期の非公式組織の形成の発端は、レーザー発振器と学会という知識創造を目的とした情報交換の場である。
- (4) レーザのような新しく多くの用途が想定される技術であっても、その捉え方は個人や組織が持ち続けている技術的課題が影響を及ぼす。それに新技術を適用すれば解決できる可能性があるという考えが一致し、共有化されると、共通目的が作られるとともに組織が形成される。
- (5) レーザ加工に関わる公式組織が形成される前には非公式組織があり、その共通目的は既存の技術的課題を焦点化した上に作られているため、イノベーションの創出は初期に形成された組織に影響されていたことがわかった。

謝 辞

本研究にあたり、椛山女学園大学佐々木圭吾教授、埼玉工業大学河田直樹教授、群馬大学故久米原宏之教授よりご指導を賜り、ここにお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 小林昭：レーザー加工，開発社(1973)。
- 2) 門上武司：二度目の、翼の王国，540，(2014)，95-96。
- 3) 横山鎮：四輪車体におけるテーラードブランク適用事例，塑性と加工，54，627(2013)309-313。
- 4) 新井武二：いま、なぜレーザーなのか，第38回レーザー協会セミナー，レーザー協会事務局(2014)。
- 5) 小林昭：生産工程へのレーザーの適用，レーザー研究，1，3(1973)1-2。
- 6) トーマス・クーン：科学革命の構造，みすず書房(1971)。
- 7) W・ブライアン・アーサー：テクノロジーとイノベーション，みすず書房(2011)。
- 8) 佐々木圭吾：経営理念のイノベーション，生産性出版(2011)。
- 9) 野中郁次郎，竹内弘高：知的創造企業，東洋経済新報社(1996)。
- 10) 佐々木圭吾：みんなの経営学，日本経済新聞社(2013)。
- 11) Barnard, C.I. (1983) The Function of the Executive, Harvard

- University Press.
- 12) Kline, S. and Rosenberg, N. (1986) "An Overview of Innovation", in Landau, R. and Rosenberg, N. (Eds). *The Positive Sum Game*, National Academy Press, pp.275-305.
 - 13) S. J. クライン：イノベーション・スタイル，アグネ承風社 (1992)。
 - 14) 加藤俊彦：技術システムの構造と革新，白桃書房 (2011)。
 - 15) 小林昭：レーザー加工，精密機械，47, 12 (1981) 96-100.
 - 16) 新井武二：レーザー加工の最新動向，プレス技術，52, 2 (2014) 18-19.
 - 17) 新井武二：レーザー先端加工技術について，電気学会，37, 86 (2003) 10-18.
 - 18) John A. Osmundsen: *Light Amplification Claimed by Scientist*, *New York Times*, July 8 (1960).
 - 19) 林一雄：他，高出力ルビーレーザー，日本物理学会年会講演予稿集，18, 4 (1963) 451.
 - 20) 難波進：半導体の研究および加工への応用，日本物理学会年会講演予稿集，18, 4 (1963) 461-462.
 - 21) 林一雄：他：高出力ルビーレーザーの加工，分光への応用，応用物理学会誌，32, 7 (1963) 469-473.
 - 22) 難波進，他：レーザー加工に関する二,三の実験，応用物理学会誌，32, 7 (1963) 521-524.
 - 23) 林一雄：レーザー，NEC日本電気技報，56 (1962) 29-35.
 - 24) 座談会レーザー技術の現状，エレクトロニクス，6 (1963) 656-665.
 - 25) 宅間宏：レーザー加工の問題点，精密機械，29, 10 (1963) 835-839.
 - 26) 難波進：電子ビーム加工とレーザー加工，日本物理学会春季分科会講演予稿集，1 (1964) 62-63.
 - 27) 難波進，他：レーザー加工，溶接学会誌，34, 1 (1965) 16-22.
 - 28) 難波進，他：レーザー加工，日本物理学会春季分科会講演予稿集，1, (1965) 9-10.
 - 29) 難波進：レーザー加工，電気学会誌，85, 5 (1965)。
 - 30) 難波進，他：レーザー加工，精密機械，31, 369 (1965) 819-827.
 - 31) 難波進：加工における電子ビームとの比較(レーザー(特集))，金属，36, 6 (1966) 48-55.
 - 32) 難波進：科学朝日，加工用の大出力レーザー その現状と将来性(脚光あびるレーザー(特集))，27, 2 (1967) 41-45.
 - 33) レーザーニュース，レーザー研究，レーザー学会，16, 7 (1988) 65-66.
 - 34) 植村恒義，他：高速度写真によるルビーレーザー加工機の解析(第1報)，精密学会春季大会学術講演前刷，(1965) 79-80.
 - 35) 林一雄：レーザー加工技術，電子技術，日刊工業新聞社，6, 10 (1964)。
 - 36) 植村恒義，他：高速度写真によるルビーレーザー加工機構の解析(第2報)，日本物理学会年会講演予稿集，21, 3 (1966) 199.
 - 37) 植村恒義，他：高速度写真によるルビーレーザー加工機構の解析(第3報)，日本物理学会年会講演予稿集，21, 3 (1966) 200-201.
 - 38) 植村恒義，他：高速度写真によるレーザー加工機構の解析研究，日本物理学会年会講演予稿集，24, 4 (1969) 261.
 - 39) 荒田吉明，他：出力連続レーザーの発生とその特性，溶接学会誌，36, 3 (1967) 373.
 - 40) 荒田吉明，他：出力炭酸ガスレーザーの熱源的研究(2)，溶接学会全国大会講演概要，1 (1967) 153-154.
 - 41) 荒田吉明，他：出力炭酸ガスレーザーの熱源的研究(Ⅲ)，溶接学会全国大会講演概要，2 (1968) 83-84.
 - 42) 荒田，他：大出力炭酸ガスレーザーの熱源的研究(4)，溶接学会全国大会講演概要4 (1969) 197-198.
 - 43) 石川憲：レーザー加工装置とその応用，エレクトロニクス，14, 1 (1969) 83-86.
 - 44) 神山雅英：わが国におけるレーザー研究の現状，応用物理，32, 7 (1963) 440-441.
 - 45) レーザープロセッシング応用便覧，レーザー学会編，(2006) 5.
 - 46) 難波進：電子ビーム微細加工装置，真空，5, 4 (1962) 136-143.
 - 47) 島川正憲，他：レーザー加工に関する基礎研究(第1報)，精密機学会秋季大会学術講演前刷，(1965) 307-308.
 - 48) 島川正憲，他：CO₂レーザーによる木材の加工(第2報)，熱影響について，精密機学会秋季大会学術講演前刷，(1974) 121-122.
 - 49) 植村恒義，他：レーザー加工(第4報)，精密機学会秋季大会学術講演前刷，(1972) 479-480.
 - 50) 理化学研究所史編集委員会：理研精神八十八年，独立行政法人理化学研究所，(2005) 225-242.
 - 51) <http://jslt.jp/>
 - 52) <http://www.jlps.gr.jp/about/index.html>
 - 53) レーザ加工技術分科会，レーザー加工技術の現状と問題点，精密機械，48, 8 (1981) 100-114.
 - 54) 日本溶接協会，溶接協会50年史，レーザー加工技術研究委員会 (1999) 274-281.
- その他の参考文献(本文中に脚注無し)
- Steen, W. M.: *Laser Material Processing*, 2nd Ed (1998).
- 小林昭：意識革命に基づく「生産原論」の目指す道，62, 6, (1996) 795-799.
- 小林昭：モノづくりの哲学，精密工学会誌，63, 2 (1997) 150-153.
- 小林昭：「モノづくりの」の哲学，工業調査会 (1993).
- 小林昭：生産原論，日本機械学会誌，85, 761 (1982) 458-463.
- S.リリー：人類と機会の歴史，岩波書店 (1968).
- 村上陽一郎：テクノロジーとは何か，NHKブックス (1985).