

レーザー加工の基礎工学 —理論からシミュレーションまで—

Fundamental Engineering Science for Laser Materials Processing

京都大学化学研究所

徳田陽明

TOKUDA, Yomei

Institute for Chemical Research, Kyoto University

現場技術として捉えられることの多いレーザー加工に対して工学的（学問的）解釈を試みた意欲的な書である。序論に本書の特徴を表す記述があるので、以下に引用させて頂く。「本書は従来のレーザー加工の解説とは別の切り口で、できるだけ理論の展開とシミュレーション手法を用い、これまで理論的な記述や十分な説明がなされてこなかった加工現象に工学的な解釈を加えたものである。また、得られた計算結果に対してできるだけ実験によって検証を試みている。（中略）むしろ主なレーザー加工法に即して既存の理論や数値計算を適応し、事象を理論的に記述することでレーザー加工の考え方や工学的理解を深めることを試みた。」

本書は以下の2部構成からなっている。

基礎編 加工の基礎事項

- 1 レーザ発振
- 2 加工用レーザー
- 3 レーザ加工の工学
- 4 レーザと物質の相互作用

- 5 加工の予備知識
 - 6 加工の基礎現象
- 応用編 レーザ加工各論
- 7 レーザ穴あけ加工
 - 8 レーザ切断加工
 - 9 レーザ溶接加工
 - 10 レーザ表面処理加工
 - 11 レーザによる微細加工
 - 12 レーザ加工時の安全

本書で取り上げられている加工は主に、切断・溶接である。また、加工される材料は金属を念頭に置かれて記述されている。ここで述べられている考え方やシミュレーションの実際については、ガラスの機械加工への応用も可能である。レーザー加工という、ともすればやや荒っぽい方法に対して、熱拡散や膨張などを考慮に入れたシミュレーション法の理論背景とともに、そこから得られたシミュレーション結果をふんだんに取り入れた良書となっている。また、加工した材料の写真も多く掲載されている点も評価できる。

〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄

TEL 0774-38-3132

FAX 0774-33-5212

E-mail: tokuda@noncry.kuicr.kyoto-u.ac.jp

基礎編の1~3章ではレーザーに馴染みの無い読者にも理解できるよう、発振原理や各レーザ

の特徴が述べられている。レーザの基礎を知っている読者にとっても、加工という観点からのレーザの特徴についての情報を得ることができる。

4章ではレーザが物質と相互作用した際に生じる物理作用（光の吸収やそれに伴う熱の発生）を詳説した上で、どのようにエネルギーが配分されて加工されるかについての全体像を明らかにする。レーザが照射された際に単純に熱が発生するだけであれば記述は簡単であるが、実際には加工時のガス吹き付けや材料のガス化なども考慮する必要があり、非常に複雑な現象であることがわかる。

そして5章、6章において、この複雑な現象をどのように取り扱うか（すなわち、いかにパラメータ化して連立微分方程式を得るか）が説明される。実際に数値計算シミュレーションを行う読者にとって有益な章である。まず、5章では前章までに断片的に触れられてきた加工に関する基礎的な情報（加工の方法、レーザエネルギーと物理プロセスの関係、加工品質の評価法）が述べられる。レーザ加工の概略のわかる簡潔な解説ともなっている。

6章は恐らく本書で最も重要な章である。前章までに得た知見を総動員して、加工という現象を工学的に取り扱う手法について述べられている。他の章でも同様であるが、必要な式の導出を省略せずに記述している点が良い。実際、あとがきに「多くの専門書では理論の最終的な解のみが示されていることが多い。そのため引用または使用したいと思うときに、記述された理論式の真偽のほどがわからない場合がある。（中略）その点を考慮して本書では多少の冗長さはあるかもしれないが、代表的な加工理論は式の誘導をあえて試みた」とある。さて、この章では始めに加工に及ぼすレーザの偏光状態についての記述がある。円偏光の場合には切断における方向性は現れないことが述べられている。次に、加工に及ぼすアシストガスの工学的取り扱い（流速、流量、温度などの理論的扱い

方）が述べられている。そして加工において発熱は重要な役割を果たすことから、発熱、それにともなう膨張、熱拡散、さらに加工に伴う変形の取り扱いが述べられる。6.5.3.4節では（節という小さな取り扱いだが、実際の運用では重要と思われる）、加工に関するパラメータを用いて本章の方法によって、加工のシミュレーションを行う際に、如何にして結果を検証するかについてのコツが述べられている。そして、本章の最後には種々の加工シミュレーション法について述べられている。それぞれどのような違いがあるのか、得手不得手は何か、どこに注意する必要があるかについての記述、また現在どのような課題があるのかについて述べられている。なお残念なことに市販のシミュレーションソフトという単語は頻出するが、一方でどのようなソフトがあるのかの記述が無く、具体性に欠ける点が残念に思った（まさに発展途上の分野であり評価が定まっておらず記述が難しいのだろう、実際にシミュレーションを行っている者にとっては周知なのだろう、と小職は理解した）。蛇足ながら、Google検索で「加工シミュレーション」をキーワードとして検索すると、約15,000件のヒットがあり、活発な領域であることがわかる。

7~11章では加工の各論について述べられる。穴あけ、切断、溶接、表面加工それぞれの場合でプロセスが異なり、工学的取り扱いも異なっていることがわかる。計算モデル（仮定および用いた微分方程式）や、結果（熱の分布、ガスの噴流速度、加工フロントの状態、溶接の際の材料の流動、集光点の位置と加工状態の関係など）、また加工された材料の表面状態の写真がふんだんに掲載されており、2007年の時点での加工分野を総括する内容になっているといえる。

12章はレーザを扱う上での安全上の注意について述べられている。レーザは光であるため、従来法とは異なる安全上の注意が必要となることは周知の通りである。レーザ加工を始め

で行う場合、熟読することをお勧めする。

<良い点>

- ・図表がふんだんに取り入れられており、理解に役立つ
- ・レーザー加工の知識が0でも理解できるよう、詳説されている
- ・理論式の導出が丁寧であり、後で検証することができる
- ・加工シミュレーションの運用のノウハウを知ることができる

では、本書をどのような読者が読むべきかについて考えてみた。新しく加工現場に配置され、加工についての知識の無い方にまずお勧めする。この際、基礎編（6章まで）を理解することを目標に頭から読んでいくのが良い。一方、レーザーなどの基礎知識がある読者は、5、6章を始めに読み、7～11章の興味のある各論に進むのが良いだろう。本書が念頭に置いているのは金属材料であるが、工学シミュレーションの立場からはガラスと金属の違いはいくつかの

物理定数（熱拡散係数、光吸収係数など）の違いとして現れるのみであるので、ガラスを用いた切断加工に工学的手法を取り入れようと考えている読者にも是非とも勧めたい。また、実際に加工に従事している読者が読むと、これまで経験的に行っていたことが、ここまで明らかになっているのか、という印象を持たれるに違いない。一方、加工シミュレータを使おうと思っている読者も読んでおくことをお勧めする。加工シミュレータは一般にブラックボックスになっていることが多いが、運用上の危うさの実践的解決法が得られるに違いない。

レーザー加工の条件は複雑であり、まさか精密なシミュレーションは不可能だろうと思っていたが、読後その印象は一変した。加工現象を実時間スケールで記述する方法が確立されつつあることを認識したことが個人的な収穫となった。勘を頼りに行っているプロセスのシミュレーションが可能となる日が近いことを予期する。是非ともレーザー加工以外の分野に携わっている読者にも読んでいただきたい。