レーザ技術による、自動車効率の改善

ラルフ・キンメル

レーザ加工、柔軟な軽量車体製造を支援

レーザ技術は、乗用車のCO_2排出量削減における重要な鍵を握る。レーザに基づく多数の自動車製造用のイノベーションがこの目標の達成に貢献しており、本稿ではその概要を紹介する。

未来の自動車は、これまでのモデルよりも格段に軽量になる見込みで、レーザに基づく製造プロセスがその進歩において重要な役割を演じる。その例としては、フランジのないパーツ、アルミニウムや炭素繊維強化プラスチック（CFRP：Carbon Fiber Reinforced Plastic）といった高機能プラスチックの利用の増加、熱成形やプラスチックと金属の結合などが挙げられる。このようなイノベーションは車体の軽量化を促し、ひいては航続距離の延長やCO_2排出量の削減につながる。

図1　フランジレス構造は、従来式のスポット溶接と比べて加工時間、材料使用量、重量の面で多数の利点がある。

レーザを利用した軽量車の構築

従来式のスポット溶接によって金属シートを結合する場合、端同士を重ね合わせることが必要になる。一方、レーザビームで溶接すれば、フランジレスの設計が可能である。この場合、個々のシートをまず、さねはぎ結合によって組み立ててから、レーザで溶接する。これには複数の利点がある。つまり、スポット溶接と比べて加工時間が短い、結合する部分は材料や厚さがそれぞれ異なっていてもよい、最終的な構造には冗長な材料が含まれないため軽量化が図れるといった利点である（**図1**）。また、クランピング技術を適用するには通常、かなりの労力が必要となるが、結合する2つのパーツを事前に配置することによって、シンプルで低コストのクランピング補助で済ますことができる。

負荷が高く、さらなる安定性が求められる部分には、必要に応じて補強構造を付加する場合がある。これに対応する構造（自動車のアンダーボディなど）を、従来のよりも少ない工具で実現することができる。また、この目的のために、生産準備段階において入念な作業によって製造しなければならないような特殊な工具は必要ない。それどころか、処理に必要な作業はすべて、標準のレーザ溶接ロボットによって実行することができる。

このプロセスによる優れた例の1つが、ドイツの郵便局（Deutsche Post）に導入された「StreetScooter」である。ドイツのアーヘン工科大（Rhenish-Westphalian Technical University）発のスピンオフ企業によって開発され、フランジなしで作成されたアンダーボディの上に構築されている。現時点で、約40台のこのようなマイクロバンが試用されており、これまでのところ、何の問題もなく適切に稼働している。

レーザによって、異種材料の革新的な組み合わせが可能に

炭素繊維強化プラスチックも、軽量車設計によく使用されている。特に、電気のみで走行する自動車である。レーザ技術は、このような材料の切断や加工において明らかに利点がある。レーザを使用すれば、材料に触れることなく、また、何の圧力も加えることなく、切断が可能で、材料の形状と構造が変化しないことが保証される。これによって、非強化材料の場合でも、ゆがみが生じるリスクが軽減される。使用される製造プロセスによって、切断や加工は、CFRP部品の成形の前または後に行われる場合がある（**図2**）。炭素繊維材料からブランクを切り取る処理に対し、独トルンプ社（TRUMPF）は、3D部品を切断するための空間成形ビーム熱源「TruDisk」を装備した「TruFiber」レーザシステムを提供している。切断対象が、（バインダーに既に埋め込まれた）CFRP、ガラス、または炭素繊維マットであるならば、このレーザシステムが優れた選択肢である（**図3**）。このシステムを使用すれば、レーザが繊維をきれいに溶かして除去する（**図4**）。

製造プロセスの改善につながる、レーザ技術を用いたもう1つの方法は、接着剤を使用せずにプラスチックを金属材料に熱接合することである。金属とプラスチックは融解点の差が大きいため、従来の溶接技術ではこれは不可能だった。しかし、短パルスのレーザを使用すれば、金属上にアンダーカットの定義済みパターンを作成し、そこに加熱された結合対象のプラスチック部品を圧接することができる。その後、プラスチックが冷めて凝固すると、2つの材料はフォームフィット接続によって結合される（**図5**）。このような接続に対する引張強度の検査からは、結合部が基本材と同等の強度を持つことが示されている。この方法による接続部は、耐圧性と防水性を備え、動的負荷をかけても安定性を維持する。

熱成形におけるレーザの利用

ホットスタンプ加工は、車体パーツの大幅な軽量化を可能にする。しかし、焼入鋼は硬度が高く、プレス機では切断できない。レーザ技術は、この問題も見事に解決する。3Dレーザ切断によって、部品を摩耗させることなく、また、圧力を加えることなく切断する（**図6**）。非常に生産性に優れたこの技術は、

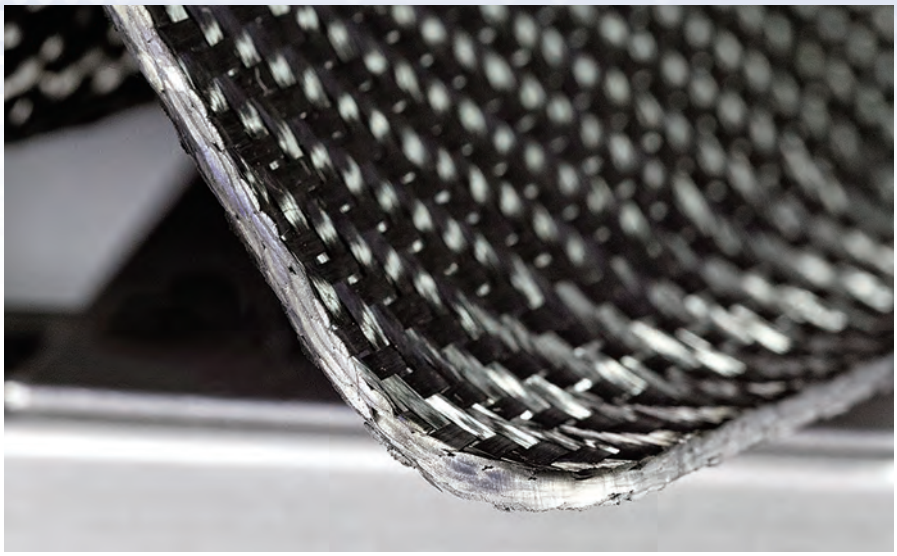

図2　炭素繊維強化プラスチックは、成形前でも後でもレーザで切断可能である。必要ならば、純粋な炭素繊維マットを、接着ポリマーを充填する前または後に切断することができる。

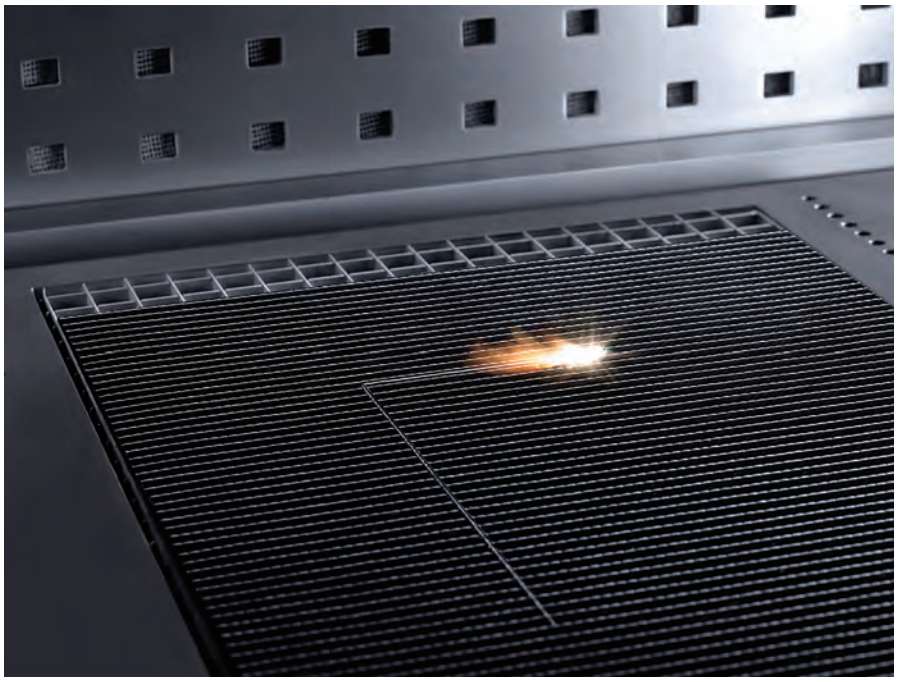

図3　硬化したCFRP部品の切断。材料の厚さが4mm未満の場合は、レーザの方がウォータージェットやフライスよりも2～3倍速く、品質の高い切断部が得られる。

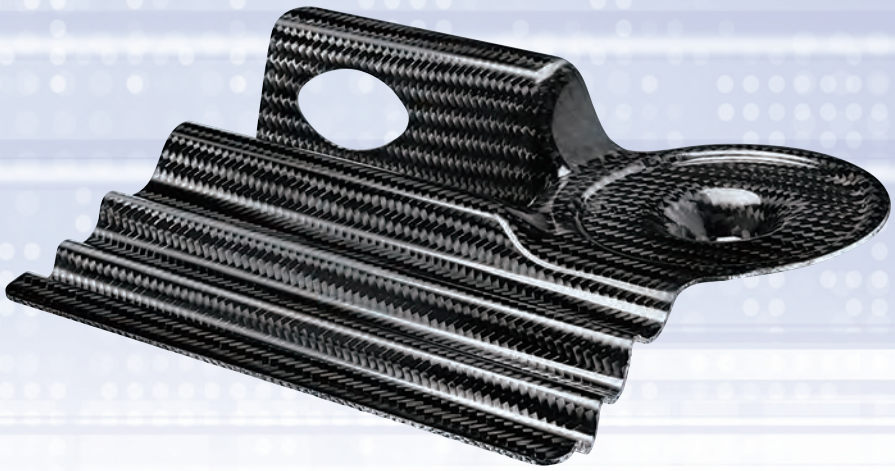

図4　レーザ光は、編み込み状の部品をニアネットシェイプに滑らかに切断することができる。切断部に対する仕上げ加工は不要である。

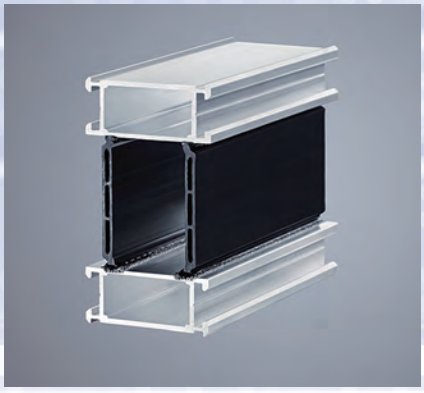

図5　金属と繊維からなる複合材がしっかりと結合されている。超高速レーザによって、金属部分にアンダーカットを作成することで、ポリマーと加熱された金属を一緒に適切に融解させる。

プレス機で成形する前の原材料の2D切断にも使用できる。ここでは、切断パターンの最適化によって、材料を節約することができる。モデルチェンジや、派生モデルの製造のために、後から変更が必要になった場合でも、レーザロボットの再プログラミングによって簡単に対応することができる。新しいパンチ工具を設計したり製造したりする必要はない。

逆に、レーザ光は部分軟化を促して、厳密に定義された部分の成形を改善したり、材料がもろくなって割れる危険性を軽減したりするためにも使用できる。トルンプ社が提供するRF発生器は、この目的に最適である。

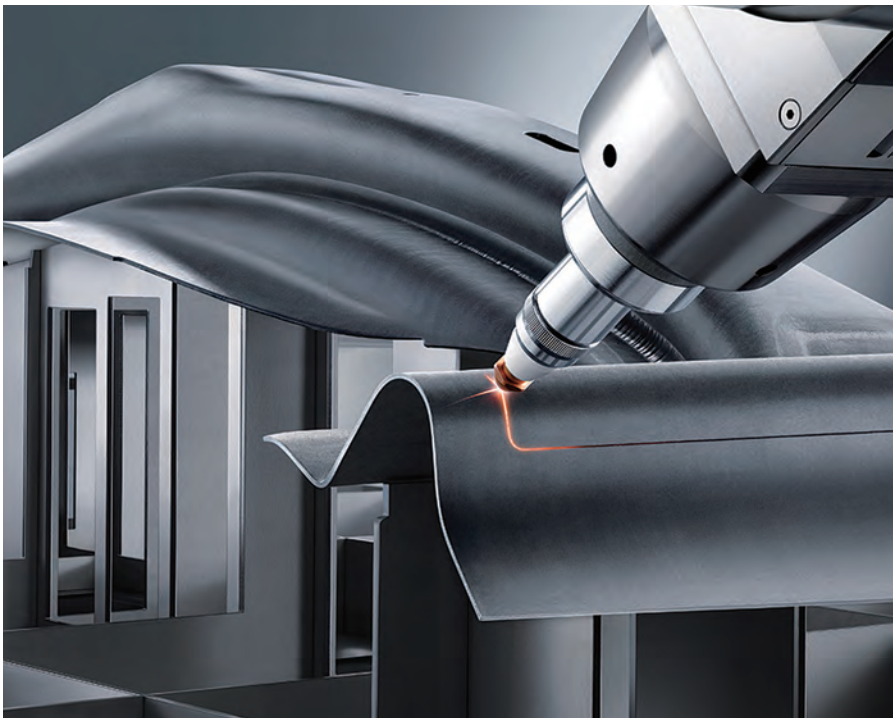

図6　3Dレーザ切断は、部品を摩耗させることなく、また、圧力を加えることなく切断し、しかも高い生産性を発揮する。

レーザビームは、レーザ溶接の前準備として、薄鋼板上の領域からコーティングを除去するためにも使用できる。その一例が、厚さ10～25μmのアルミニウムシリコン膜のアブレーションである。プロセスを非常に精密に制御して、アルミニウム残量を正確に調整することが可能であるため、材料の性質をきめ細かく制御することができる。トルンプ社の「TruMicro」シリーズなど、ここで使用されるレーザシステムは、毎分30mを超える速度でこのアブレーション処理を行うことができる。

後続の製造工程において、レーザは、文字、マーク、QRコードなどの彫刻にも使用することができる。また、熱成形によって準備された部品の溶接にも使用できる。

新しい製造プロセスの可能性を開拓

レーザ金属溶融（LMF：Laser Metal Fusion）やレーザ金属堆積（LMD：Laser Metal Deposition）として知られる手法によって、さらに他の手段も提供されている。どちらのプロセスも、3Dプリントや光造形（付加加工）（AM：Additive Manufacturing）などによって耳にする機会が増えた概念に基づくものである。これ

らの手法は、従来のプロセスではまったく製造できなかった部品の製造を可能にする。材料の形状と性質の両方の面で、無限の複雑さに対応可能だ。革新的なこれらのプロセスは、単一の加工物の中に異種材料を組み合わせることが可能であることが、その最大の理由である。

LMFでは、非常に粒子の細かい金属粉末を金属基板に均一に塗布してから、レーザエネルギーによって選択的に溶解または融解し、凝固させる。このプロセスによって加工物を作成する際には、3D設計データを厚さ20～100μmの個々の層に「スライス」することが行われる。各層の2D画像が、加工物を付加的に積層していくための基礎となる。レーザを正確に制御することによって、新しい各粉末層を、その下の層の適切な場所に必要な材料厚さで融着させることが可能となる。

LMDの場合は、レーザビームによって金属基板上に溶接プールを生成し、そこに、チタン、ニッケル、コバルト、炭化タングステン、合金鋼といった別の材料を粉末として堆積させる。粉末は溶解して層を形成し、それが基板に融合する。LMDでは、複数層からなる加工物の作成も可能で、必要ならば、複数の異なる接合合金で構成された加工物を作成することもできる(**図7**)。

本稿で紹介した付加プロセスは、現在既に利用可能で、今後何年かのうちに、コスト面でも従来のプロセスと同等になる可能性がある。ちなみにこれらのプロセスは、他の手法で製造された加工物に対して構造を補強したり、新たに構造を追加したりするためにも使用できる。これによって、付加構造の配置、形状、サイズの面で、製造プロセスに柔軟性が加わる。また、追加の材料は本当に必要な場合のみ付加されるため、この手法も最終製品の軽量化につながる。

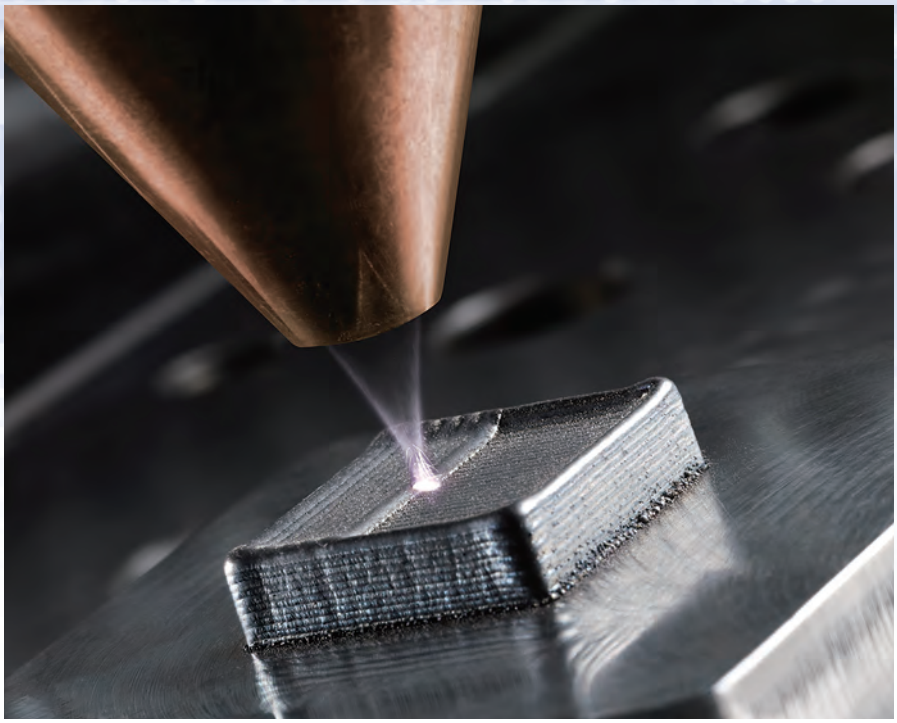

図7　レーザ金属堆積(LMD)では、複数層からなる加工物が作成可能で、必要ならば、互いに接合された複数の異なる合金で構成された加工物を作成することもできる。

新しい概念の展望

以上で紹介したプロセスで、自動車設計におけるレーザ技術の利用方法は終わりというわけではまったくない。むしろこれらは、無数の新しい概念の基礎をなすものである。本節では、そのほんの一例を紹介する。

リモートフィレット溶接は、重ね合わせたシームにおいて2つの加工物を溶接することができる。今日一般的に使用されているレーザ溶接と比べると、重なり合う領域のフランジが短くなることによって材料の量をさらに減らすことができる。続いてシームは、作成されたフィレットにおいて直接、レーザビームによって溶接されるため、充填材を追加する必要はない。応用分野の一例としては、自動車のドアフレームのシーム溶接が挙げられる。

ただしこのプロセスでは、レーザビームに対する最大限の位置決め精度が求められる。加工物の向きを登録してレーザビームの位置を連続的に再調整するための適切なセンサを使用することによって、これを達成することができる。

まとめ

レーザに基づくプロセスは、さまざまな方法によって車体の軽量化を可能にする。このことからレーザ加工は、CO_2排出量の削減や航続距離の延長だけでなく、さらには自動車製造の時間の短縮、コストの削減、柔軟性の向上につながる重要な技術進歩となっている。

著者紹介
ラルフ・キンメル(RALF KIMMEL)は、独トルンプ社(TRUMPF Laser und Systemtechnik)のIndustry Management Automotiveに所属。
e-mail: ralf.kimmel@de.trumpf.com　URL: www.trumpf.com/en

ILSJ