

Lasermeister LM300A+SB100で実現する自動補修ソリューションの紹介

安葉浩一

Introduction to Automated Repair Solution Enabled by Lasermeister LM300A + SB100

Koichi YASUBA

ニコンは2019年に金属3D プリンター Lasermeister 100A を発売し、2024年には LM300A と SB100を発売し、これら装置を用いた自動補修ソリューションを提案した。LM300Aは大出力レーザーと造形空間の拡大により、タービンプレードなどの大型部品補修に対応する。SB100は内蔵3D スキャナーによる高精度な形状計測や補修部位の自動抽出、さらにLM300A 用の加工パス自動生成を行う。両機をセットで使用することで、計測から積層造形まで一連の自動補修プロセスを高精度かつ安定して繰り返し実行できる点が大きな強みである。タービンプレード補修では現品の歪みといった予測困難な課題にも対応し、 ± 0.25 mm 以内の高精度補修を実現した。設計モデルがなくとも現物計測データのみで補修形状を生成でき、幅広い実務ニーズに応える。今後は金型など薄肉補修にも展開し、顧客ニーズに応じた自動補修ソリューションの拡充を目指す。

Nikon launched the metal three-dimensional (3D) printer Lasermeister 100A in 2019 and introduced LM300A and SB100 in 2024, based on which an automated repair solution was proposed. LM300A is equipped with a high-power laser and features a large build volume, thus enabling the repair of large components such as turbine blades. SB100 features a built-in 3D scanner for the precise measurement and automatic extraction of damaged areas, as well as for the automatic generation of tool paths for use with LM300A. This solution is advantageous as it uses both devices simultaneously, thus enabling a highly accurate and stable automated repair process from measurement to additive manufacturing. In repairing turbine blades, the system used can accommodate unpredictable issues such as the deformation of actual components and affords a repair accuracy of ± 0.25 mm. Moreover, in cases where the original design model is unavailable, the system can generate repair shapes solely from measurement data, thus satisfying a wide range of practical requirements. In the future, Nikon plans to expand this solution to thin-walled components such as molds, thereby enhancing automated repair solutions in response to diverse customer requirements.

Key words 金属積層造形, 3D 計測, 欠損部位特定, タービンプレード補修, 金型補修
additive manufacturing, 3D measurement, defect-area identification, turbine-blade repair, mold repair

1 はじめに

2019年にニコンの新規事業として光加工機 Lasermeister 100A (Fig. 1) を発売した。本文書内では以後 LM100A と記載する。

LM100A は、ニコンの得意分野の一つであるレーザー制御技術を応用して開発した金属の積層造形装置で、いわゆる3D プリンターである。5軸機構を導入したLM101A、高度な溶融制御機能を搭載したLM102Aも発売されている。Fig. 2はLM102Aにおける造形空間の確認風景である。

LM100A シリーズは、金属粉末とレーザーを用いた Directed Energy Deposition (DED) 方式を採用している。本文書内では、この「金属粉末とレーザーを用いた DED



Fig. 1 Lasermeister 100A

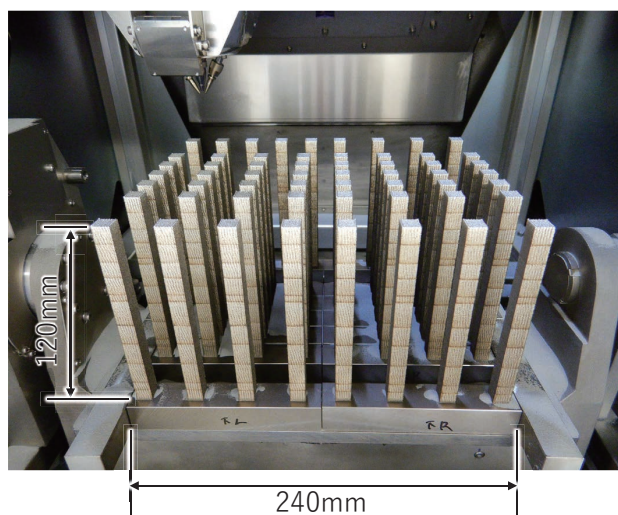


Fig. 2 Lasermeister 102A による造形風景

方式」の事を単に DED と記載する。

DED と対比される方式として Laser Powder Bed Fusion (L-PBF) が挙げられる。L-PBF は Nikon SLM Solutions の装置で採用している方式である。DED も L-PBF も金属粉末に対してレーザーを照射し、金属を溶融させることで造形を行う方式である点は同一であるが、金属粉末の供給の方法に大きな違いがある。DED は、造形対象に対してレーザーを照射し、造形対象を溶融させた領域に金属粉末を集中供給することで造形を行う。一方、L-PBF は、金属粉末を均一に敷き詰めた粉末床と呼ぶ平面に対して、レーザーを照射しその金属粉末を溶融することで造形を行う。この金属粉末供給原理の違いから、各々得意とする造形手法も異なってくる。

DED が L-PBF に対して持つ有意点の一つが、既存部品への付加造形が行いやすい事である。L-PBF は上記金属粉末供給の原理上、装置自身で供給した金属粉末によって、その時点までに生成した造形物を覆い隠してしまう。既存部品への付加造形を考えた場合、既存部品を全て隠してし

まうことになるため、レーザー照射位置を決めにくいのである。一方、DED では、レーザー照射対象となる造形物が常に見えているため、付加造形したい位置への位置合わせが行いやすいのである。

この利点を活かしつつ顧客のニーズを汲み取る形で「補修」をターゲットとして新規開発した装置が、2024年に発売した Lasermeister LM300A と Lasermeister SB100 (Fig. 3) である。本文書内ではそれぞれ LM300A, SB100 と記載する。

2 LM300A+SB100の特長

LM300A は LM100A シリーズの流れを汲む。LM100A と比較して、最大レーザーパワーを 200 W から 300 W とすることで溶融能力に余裕を持たせ、造形空間を高さ方向に 200 mm から 400 mm と 2 倍に大きくすることで既存部品を格納しやすくした装置である。高さ方向の拡張サイズは、小型のガスタービンブレードを補修造形の具体モデルに据えた事に由来する。

SB100の基本的な役割は、補修のオートメーションを行う事である。ハードウェアとして内部に保持しているメイン機能は、非接触の3D 計測機、いわゆる3D スキャナーである。この計測器を用いて、補修対象の形状計測、補修位置の特定、補修部位の形状の生成を行う。更に、LM300A と連携し LM300A で実行可能な加工パスを生成する機能をもつ。

LM300A と SB100に適切なセットアップを行う事で、同形状の補修対象であれば、何度でも同じ条件で補修を繰り返すことを可能としている。

3 補修造形のコンセプト

補修のプロセスを Fig. 4 のように定義した。



Fig. 3
Lasermeister LM300A (右)
Lasermeister SB100 (左)

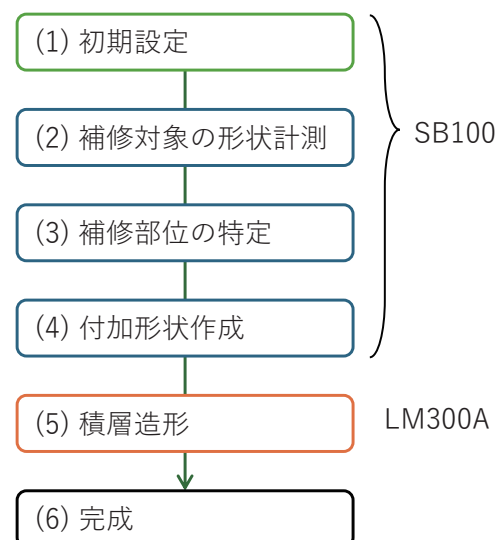


Fig. 4 補修プロセス手順

(1) 初期設定

補修に関する各種情報を設定する。例えば、計測条件、レーザーパワーや粉体供給量、補修のゴールとなる完成形のモデルである。同一の完成形状かつ破損・摩耗状況が同タイプである限り、本設定を変更する必要は無いとした。

(2) 補修対象の形状計測

内臓の3D スキャナーにて補修対象の形状を計測する。

(3) 補修部位の特定

上記 (1) で設定した完成形モデルと3D スキャナーによる3D 計測結果との差をとる。この差分が欠損部位であり補修部位そのものである。

(4) 付加形状作成

補修部位の形状をそのまま付加造形すればよい。上記 (3) で特定した補修部位から、LM300A を動かすための加工パス情報（レーザー照射位置やパワーを制御するための制御指令一式）を作成する。

(5) 積層造形

LM300A は上記加工パスに基づいて積層造形を行う。

LM100A で培った積層造形の機能を基本とし、「補修」を容易にするためのオートメーション機能を SB100 として追加提供する事にした。このようなコンセプトをとることによって、造形機側の実証済み既存機能をほぼそのままフル活用しつつ、補修部位を高精度に検出する計測機能と、その補修戦略の実行制御機能の開発に注力することを可能にした。

なお、上記のようなコンセプトで2つの装置を使う場合に問題になるのが位置の管理である。本システムは、計測・造形対象を所定のテーブルに固定し、そのテーブルごと装置間の搬送を行う。つまり2台の装置をつなぐ役割をテーブルが担っており、装置2つとテーブルとの3者間で位置再現性が重要である。この搬送によって計測対象（＝付加造形対象）の位置が動いてしまう事は絶対に避けなくてはならないし、このテーブル自体の設置時における位置再現性も高精度に確保する必要がある。

ここでテーブルと各装置に対する位置再現性を確保するために、キネマティックマウント構造（Fig. 5）を採用し

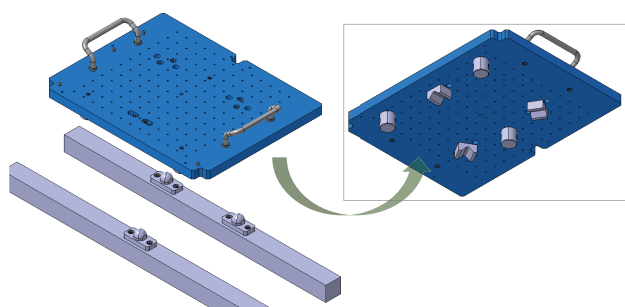


Fig. 5 キネマティックマウント構造

た。キネマティックマウントは、テーブルの設置作業を非常に気楽かつ容易に行う事を可能とし、誤差 0.01 mm 以下で位置再現性を確保している。

このようにすることでテーブルを基準に、LM300A と SB100 の間での位置管理を可能としている。例えば、テーブル上に LM300A と SB100 のどちらからでも認識可能な固定点を位置基準と定めれば、テーブル上の全ての位置は LM300A と SB100 の間で一意な対応がとれるのである。

4 タービンブレード補修

LM300A を開発するにあたって最初の補修ターゲットをタービンブレードとした。実際に補修ビジネスが成り立っている事実を目を付け、補修ビジネスを行っている企業と協業し、既存のビジネスにおける人力部分を LM300A+SB100 で置き換える事を具体例として、実用的な目標を定めたのである。

タービンブレード補修で大きい割合を占めている翼頂（ブレード頂端の事）の摩耗による欠損を具体例とし、最大ブレード長は 400 mm 以下、付加造形位置のずれ許容量は ± 0.25 mm 以内とした。

なお、補修の具体的なターゲットは Fig. 6 に示す形状である

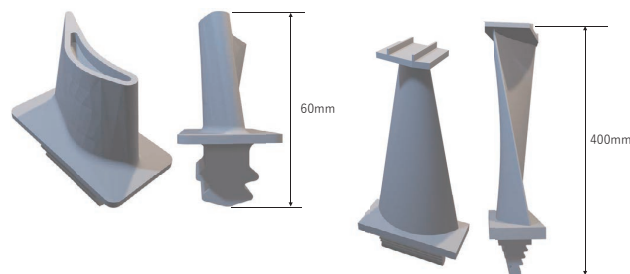


Fig. 6 補修目標とした2種のタービンブレード形状

実施してみるといくつかの課題が出てきたが、特に補修対象自体の歪みが一番の課題となった。タービンブレードの設計モデルに対して、現品はミリメートルのオーダーで大きく歪んでいたのである。設計モデルと現品計測結果の差分を単純に求めても、期待する付加形状が得られない事が判明した（Fig. 7）。

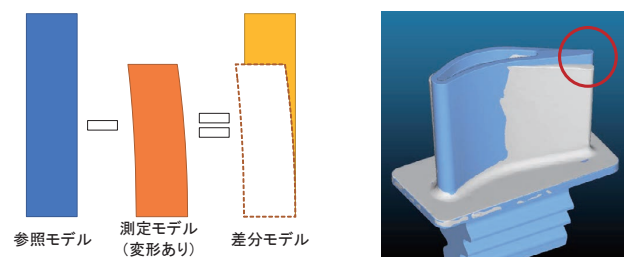


Fig. 7 タービンブレード実物が持つ歪み

最終的に2つの方法を実装した。

1つ目は、設計モデルを測定結果にできる限りフィッティングさせてから、差分を取る方法 (Fig. 8) である。この方法は、十分に汎用的ではあるが、設計モデルを現品に合わせて変形させるため、付加形状も予想外に歪んでしまう不確実性への懸念があった。

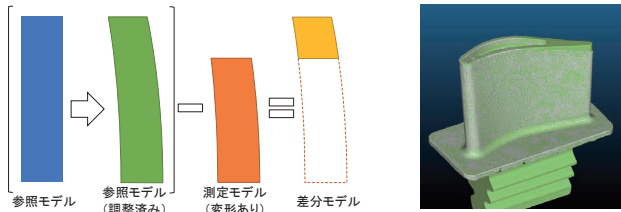


Fig. 8 計測結果に設計モデルをフィッティング

2つ目は、設計モデルを使用せず、測定結果を天面方向に伸長させ、この増分を付加形状とする方法 (Fig. 9) である。

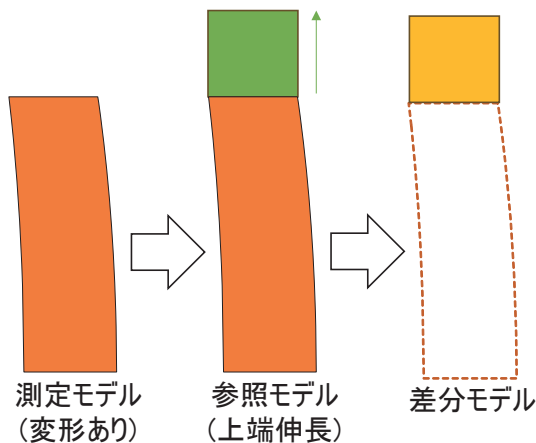


Fig. 9 単純伸長

本方法はスムージング処理等も入れず、単純に規定方向に伸ばすだけであるため、側面形状の非連続性が造形結果に与える影響が懸念された。幸運なことに、造形後に後工程として仕上げを行う事が想定されており、その後加工で十分リカバリーできる程度であると判断できた。こういった経緯から、むしろ翼頂補修に向いていることが判明したため、本手法も採用することにした。また、補修ビジネスはタービンブレードメーカーとは別の企業が実施している事が多く、設計モデル自体が入手しにくいという実情もあった。そのため比較対象に設計モデルを必要としない事も好評を得た。

これらの成果が下記 Fig. 10, Fig. 11 である。

補修造形後に形状計測した結果が Fig. 12 である。これは補修目標に対する補修結果の差分を示している。位置ずれの許容量は ± 0.250 mm を目標と前記したが、この結果を見ると概ね 0~0.5 mm となっていることが見て取れる。これも協業の中で判明したことであるが、補修時にマイナス



Fig. 10 タービンブレード翼頂 (チップ) 補修

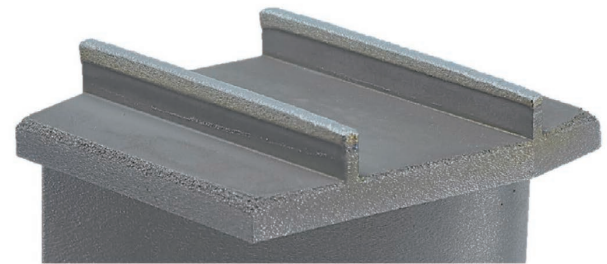


Fig. 11 タービンブレード翼頂 (ルール) 補修

(目標より小さい事) はあってはならない事象なのである。後加工で形状を整える都合上、プラス (つまり目標より大きい) である事が必須条件となった。このことを考慮し、付加加工モデルを全周囲に 0.25 mm 程度大きくするような工夫を施している。これにより位置ずれの ± 0.25 mm を考慮したとしても、補修結果から補修目標形状を差し引いた結果に、マイナスが出ないようにしたのである。

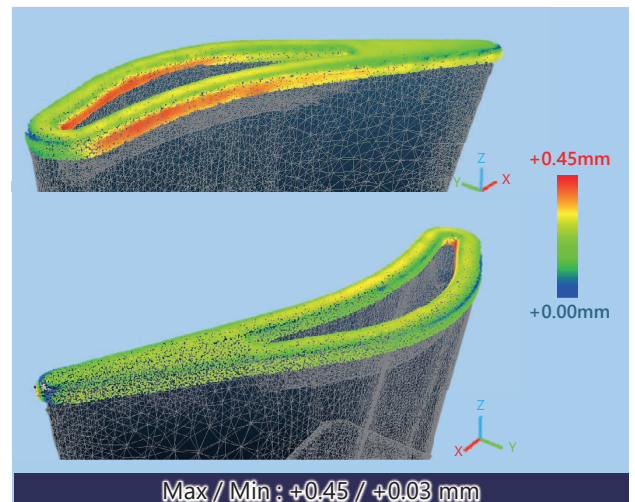


Fig. 12 タービンブレード翼頂 (チップ) 補修計測

5 まとめ

タービンブレードの補修は手順が明確で欠損部位も目視で判別しやすい事もあり、ニコンが提案する補修ソリューションの最初の一步として最適であった。このように具体

的なアプリケーションで実証しながら LM300A+SB100の価値を訴求しつづけている。タービンプレード補修でわかりやすい事例を提示できた事もあり、ありがたいことに他の補修ニーズも見つかってきている。タービンプレードは数 mm の積層量があったが、数 100 μm レベルの薄い積層

が求められるような金型の補修もその 1 つである。

今後も、具体的な要望に対してニコンの保有技術を駆使してタイムリーに回答を出す形で、Lasermeister による補修アプリケーションを充実していく予定である。