

アディティブマニュファクチャリング

包括的な品質検査と品質・検査データの
相互利用による歩留まりの向上



From Powder to Performance.

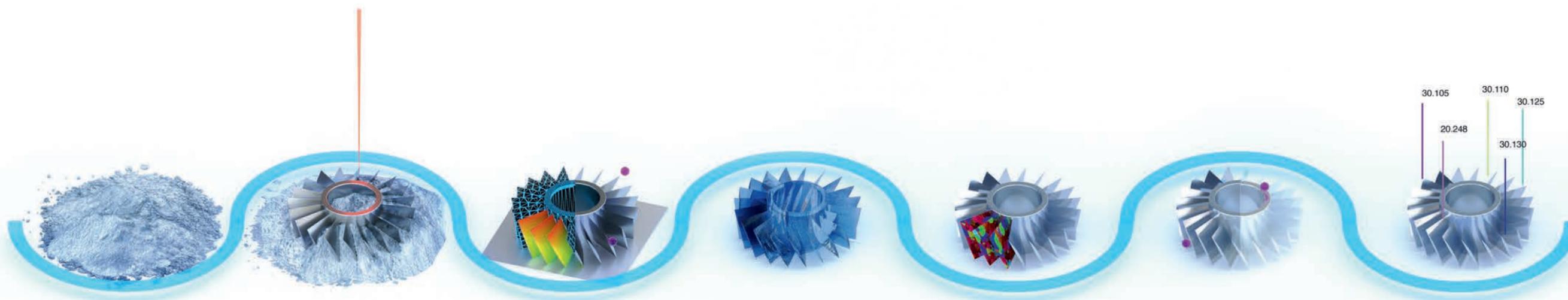
ZEISS 3D ManuFACT



// INNOVATION
MADE BY ZEISS

ZEISS 3D ManuFACT

アディティブマニュファクチャリングの全プロセス



4

5

粉末および
材料の特性評価

インプロセス計測
およびデータ解析

ポスト熱処理および
母材除去

欠陥および
内部構造の検査

プリント後の
材料品質検査

寸法測定および
表面品質検査

測定・検査データの
統計解析

SEM、LM、X線 CT

パウダーベッド検査

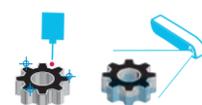
CMM、3Dスキャナー

X線 CT、LM

SEM、LM、X線 CT

CMM、X線 CT、
3Dスキャナー、LM

PiWeb、解析・相関
ツール



10ページ

14ページ

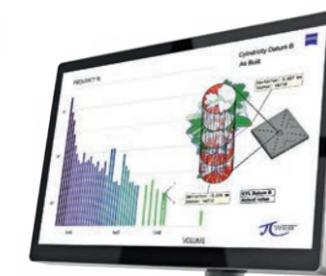
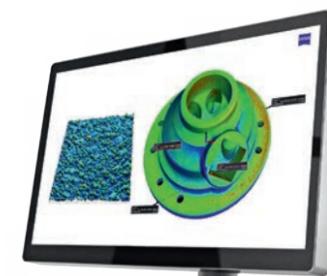
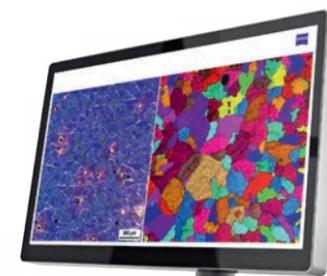
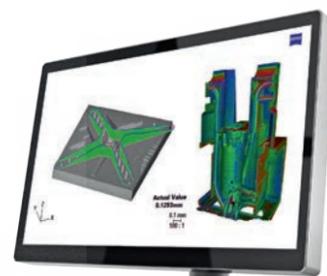
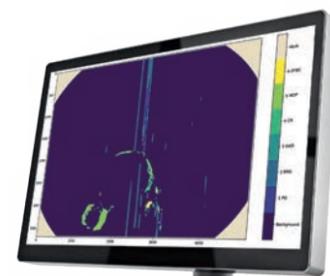
18ページ

22ページ

26ページ

32ページ

38ページ



アディティブマニュファクチャリングの歩留り向上

3D プリンティング - アディティブマニュファクチャリングはますます工業生産チェーンの一端を担いつつあります。医療、航空宇宙、自動車産業は、アディティブマニュファクチャリングのイノベーションと実装をリードしてきました。



医療インプラント



医療機器



自動車部品



ジェットエンジン部品



ZEISS 3D ManuFACT は、ZEISS ポートフォリオの様々な製品と、アディティブマニュファクチャリングのための新しいソリューションを特色としています。アディティブマニュファクチャリングのための独自の総合検査ソリューションは、以下のことに注力しています：

- + 材料組成分析
- + 粉末分析
- + インプロセス分析
- + 粉末除去、熱処理、部品取り外し、清浄度を含むプリント後の分析
- + 金属組織分析
- + 不良解析
- + 表面計測 - 外部および内部
- + 寸法計測 - 外部および内部

この統合プロセスにより信頼性の高い情報が得られ、ひいては3Dプリント部品の信頼性が高まります。



アディティブマニュファクチャリングナレッジハブ

From Powder to Performance. ZEISS 3D ManuFACT



8



ZEISS AM アプリケーションラボ

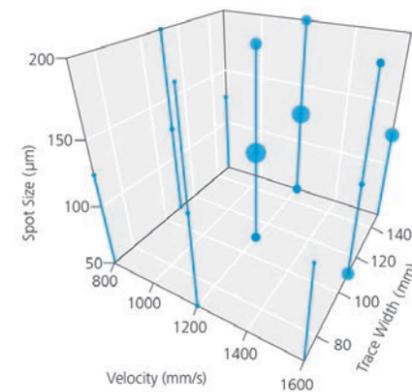
ZEISS はアディティブマニュファクチャリングに完全に特化した世界で唯一のアプリケーションラボを設立しました。このラボはお客様の共同プロジェクト、科学研究、デモンストレーションのために開かれており、お客様や ZEISS の学びとナレッジのハブとして機能します。

ZEISS と ORNL のコラボレーション

オークリッジ国立研究所 (ORNL) の Manufacturing Demonstration Facility は、アディティブマニュファクチャリングをリードする施設です。先端の科学研究を産業へ応用することに焦点を置いており、ZEISS AM アプリケーションラボの理想的なパートナーです。

迅速な AM 材料パラメーター開発

ORNL のアディティブマニュファクチャリングのノウハウと、ZEISS の計測の知識を組み合わせ、AM プロセスパラメーターを最適化する新しいアプローチが見出されました。これにより、プロセス開発期間を数年間または数か月間から、数週間または数日間へと短縮することができます。



粉末および材料の 特性評価



粉末がアディティブマニュファクチャリングの構成材料になります。その粉末のサイズ分布および形状が、展延性に影響を与え、プロセス中に欠陥が形成される要因となります。欠陥密度は、他の要因の中でも、粉末のリサイクルとエージングに相関します。LM、SEM、X線CTによって、粉末の品質を継続的に検査することが可能です。



光学顕微鏡 (LM)



走査型電子顕微鏡 (SEM)



X線コンピュータトモグラフィ (X線CT)

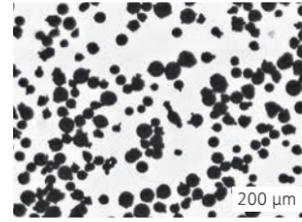


粉末および材料の特性評価

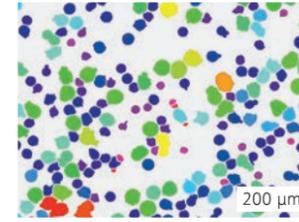


光学顕微鏡 (LM)

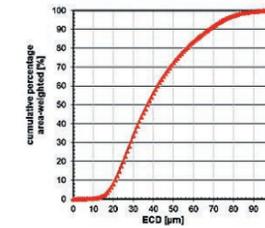
光学顕微鏡によって、迅速な粉末サンプリングと信頼性の高い粒度分析が可能です。



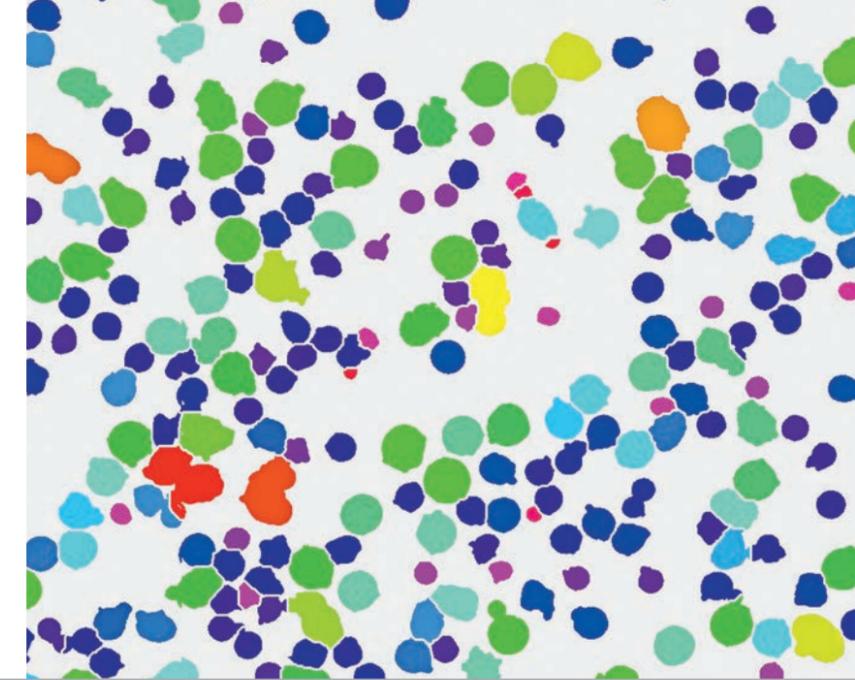
金属粉末の光学顕微鏡画像



自動セグメンテーション

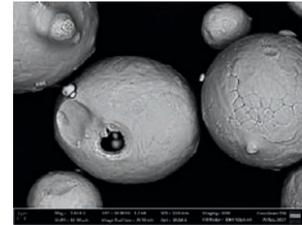


粒度分布



走査型電子顕微鏡 (SEM)

粉末の粒子サイズはかなり小さく、通常は直径数 μm から数十 μm です。走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いると、ナノメートルレベルの分解能で、バッチまたは個々の粒子を検査することが可能です。これにより、アディティブマニュファクチャリングの構成成分についての理解を深められます。



新しい粉末



リサイクルの粉末

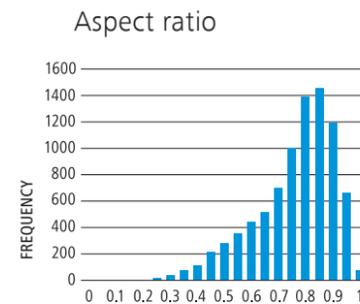


細孔のある粉末

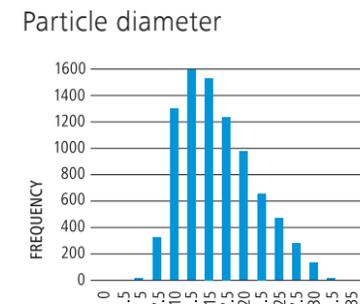


X線コンピュータトモグラフィー (X線CT)

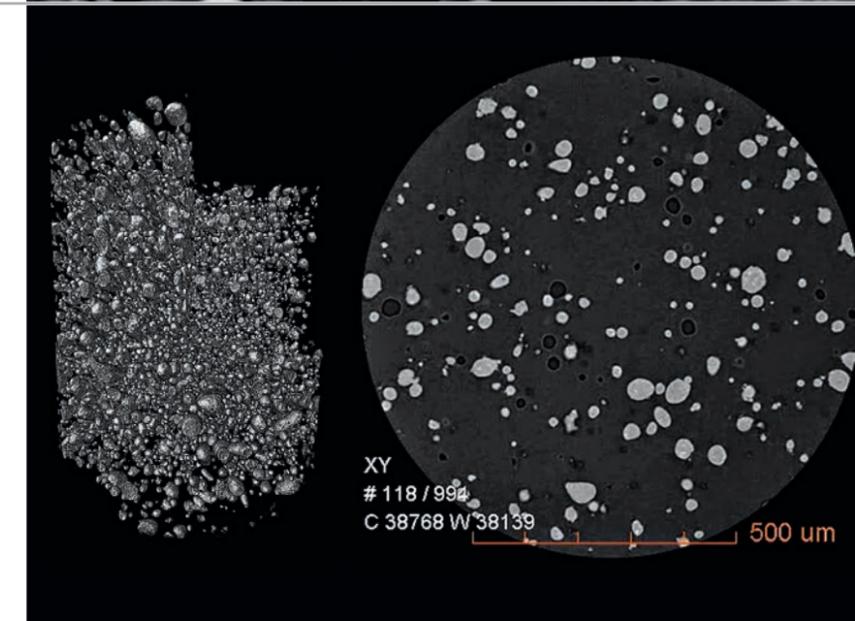
高分解能X線CTにより、粒子の形状、サイズ、内部欠陥分布の詳細な解析が可能になります。X線CTを使うことで、粒子内部の細孔容積率を測定できます。これは粉末品質を解析するための重要なツールです。



粒子解析アスペクト比および直径



> アディティブマニュファクチャリング粉末のイメージング X線 CT

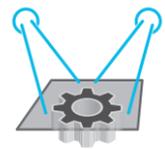


インプロセス計測およびデータ解析

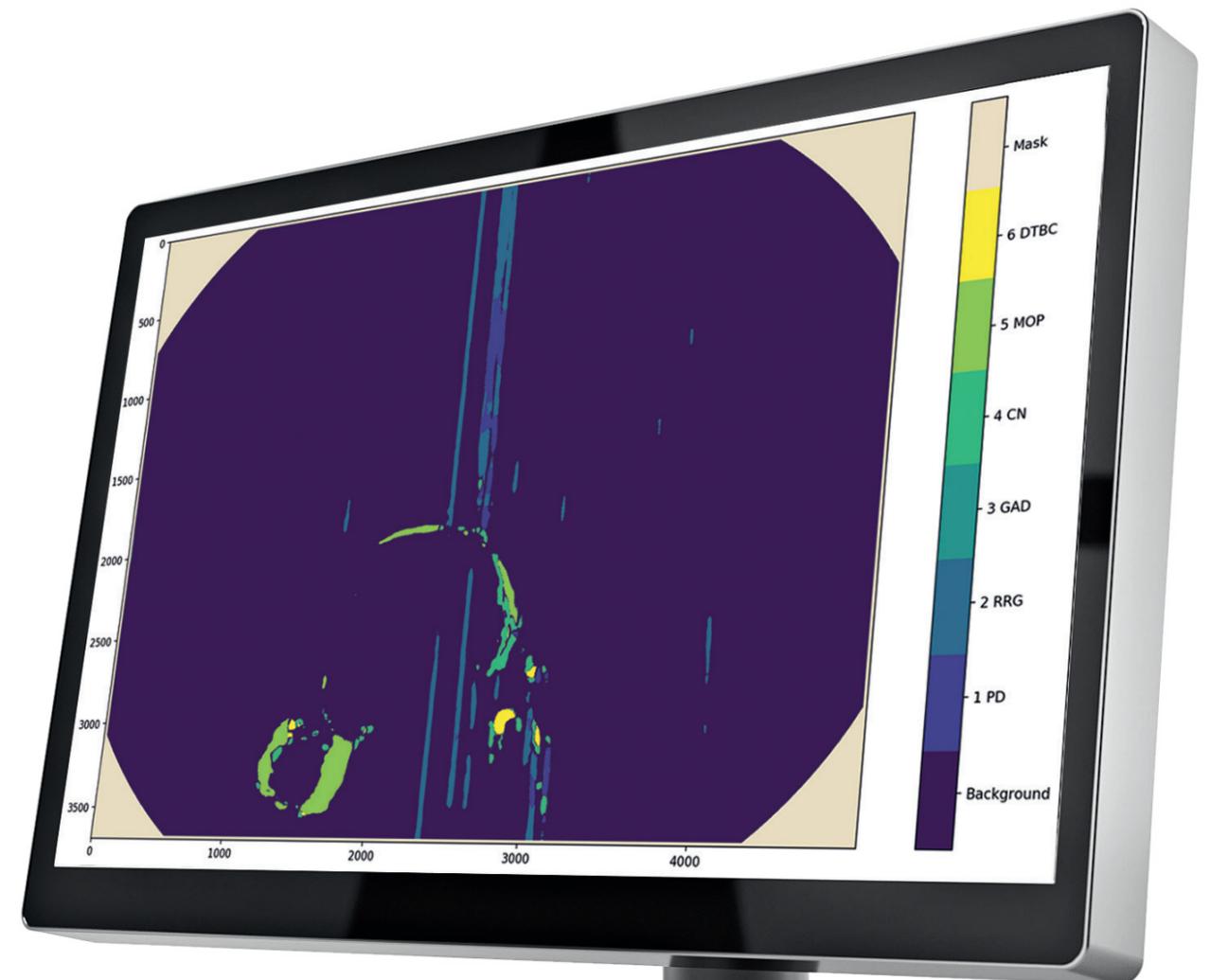
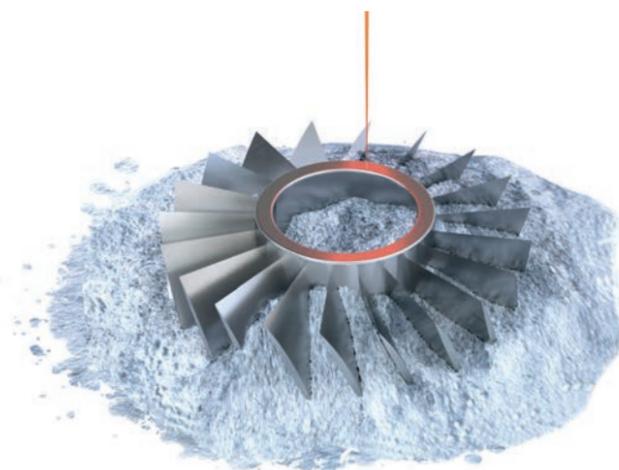


均一に分散されたパウダーベッドは、安定かつ信頼性の高いAMプロセスの基本です。そのため、プリンティング中またはその後のパウダーベッドを調べることで、品質問題の原因を特定できます。欠陥部品はプリンティング中に特定でき、また修正することもできます。このことで、ダウンストリームコストを回避し、歩留りを向上できます。

14



インプロセスパウダーベッド検査システム



15

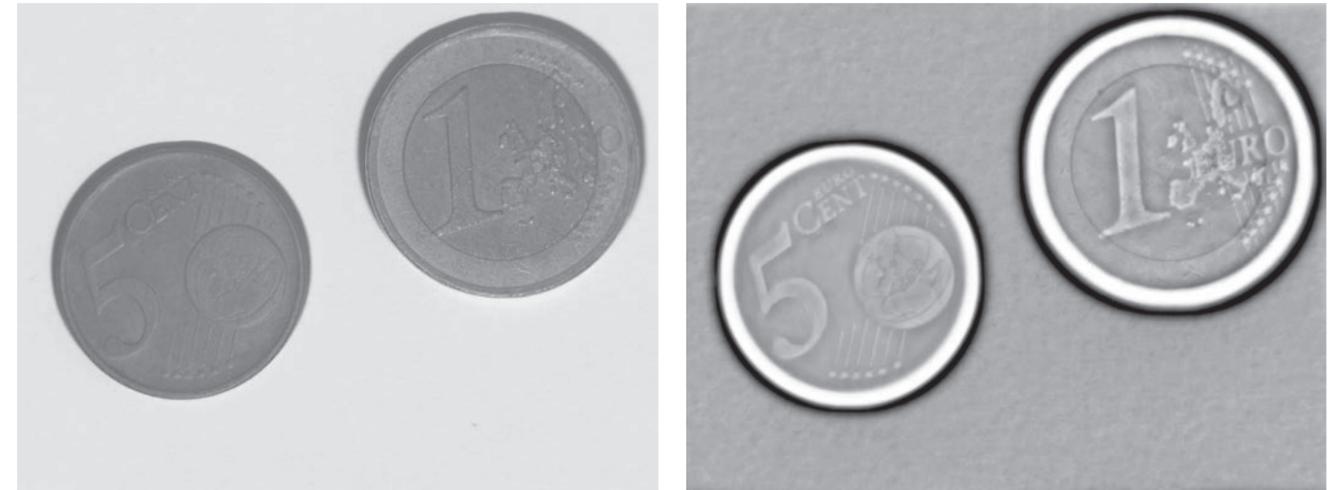
インプロセス計測およびデータ解析



パウダーベッド検査

ZEISSの特許技術を利用して、パウダーベッドのハイトマップが生成されます。このデータをもとに、ニューラルネットワークがパウダーベッドの欠陥を識別、分類します。このアプローチにより、環境の影響を完全に排除した、信頼性の高い検査結果が得られます。

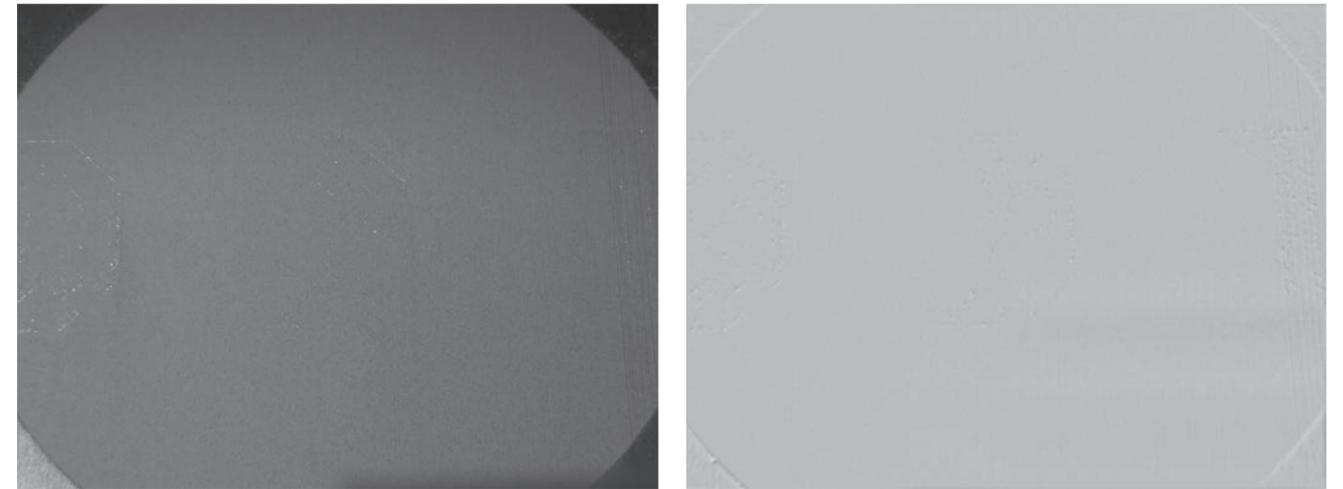
- > 左：光学グレースケール画像
- 右：生成したハイトマップ



16

パウダーベッド検査システムで取得した画像には、プリンティング中のパウダーベッドの状態に関する情報も含まれます。パウダーベッドの欠陥がアルゴリズムで検出されるので、プロセス全体の品質保証が迅速、簡単になります。

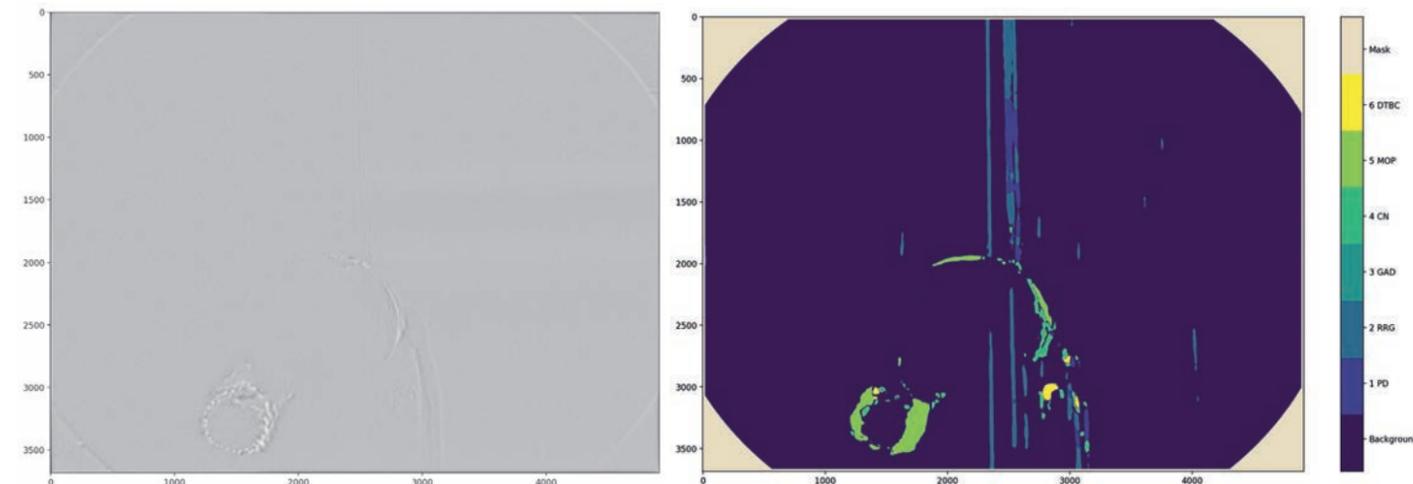
- > 左：パウダーベッドの光学グレースケール画像
- 右：生成したパウダーベッドのハイトマップ



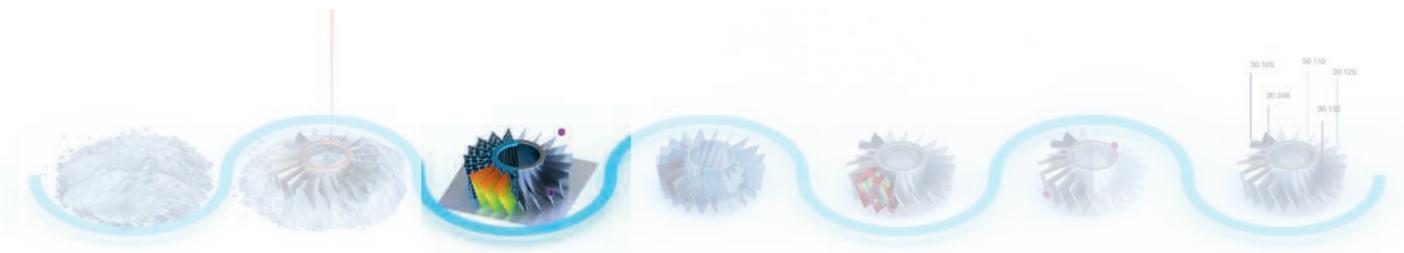
17

パウダーベッド検査システムをAM装置のインターフェースに統合すると、プロセスのコントロールが可能になります。パウダーベッドで検出された欠陥が装置にフィードバックされ、修正、あるいはオペレーターに通知されます。

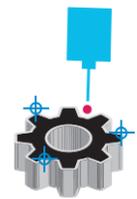
- > 左：パウダーベッドのハイトマップ
- 右：分類された欠陥を表示する分析結果



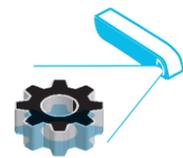
ポスト熱処理および母材除去



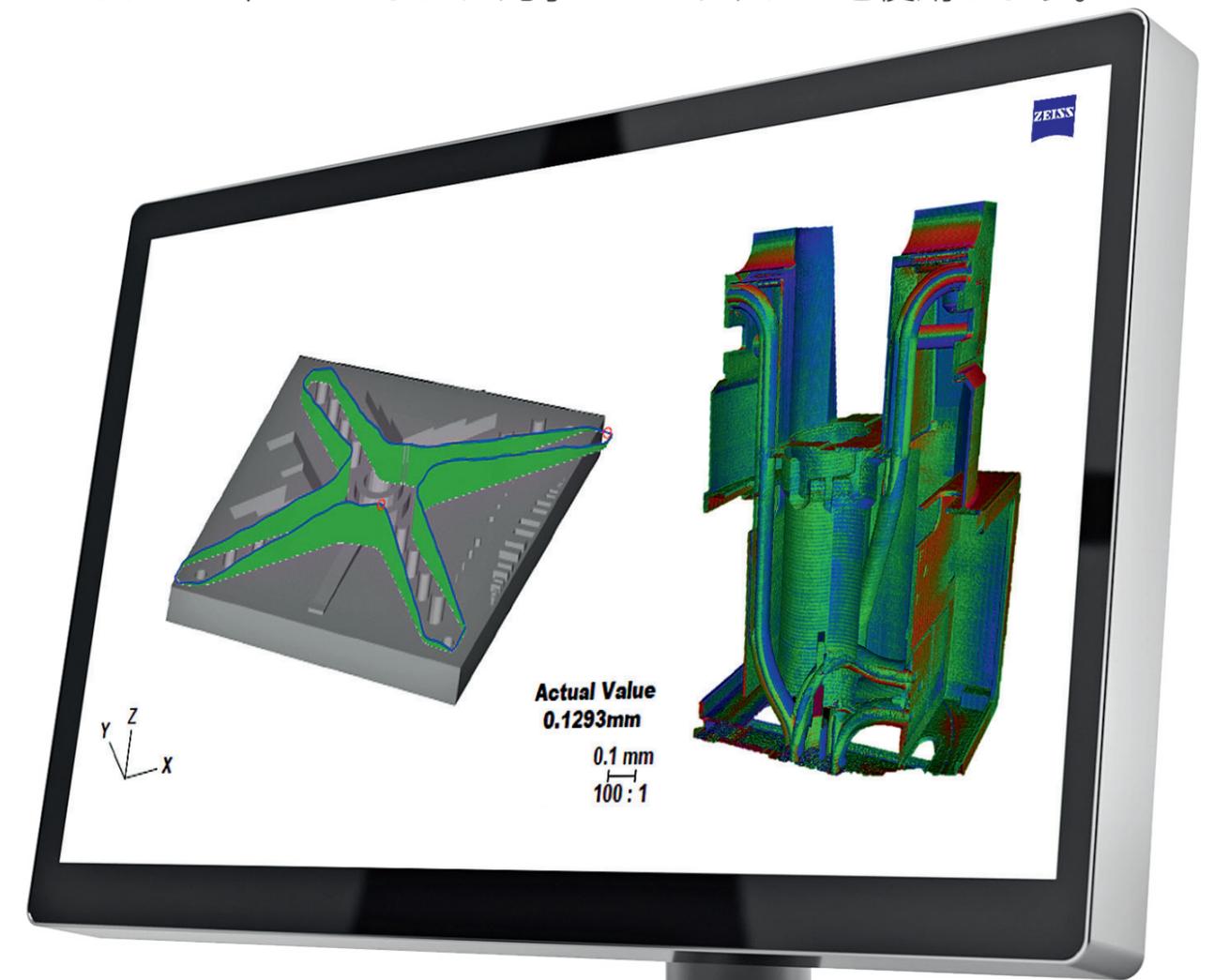
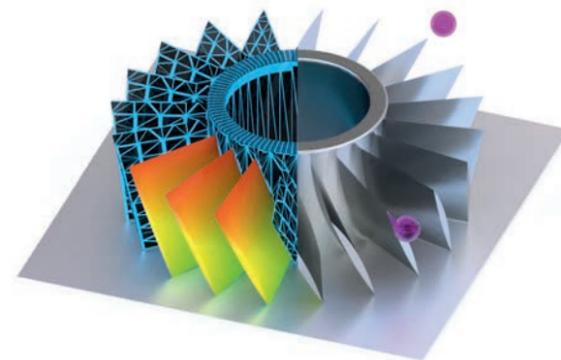
プリンティングを成功させるには、さまざまな後処理が必要になります。この後処理によって、寸法精度と最適な材料特性が確保できます。プリント後、部品はビルドプレートに付いたままです。そのまま応力緩和のために熱処理を行い、帯のこ、またはワイヤ放電加工でビルドプレートから取り外します。その後、一部の部品は微細構造を変えるために、再度熱処理を行います。最終的な精度への影響をより深く理解するために、CMM または光学 3D スキャナーを使用します。



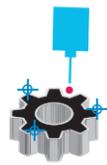
座標測定機 (CMM)



3D スキャナー

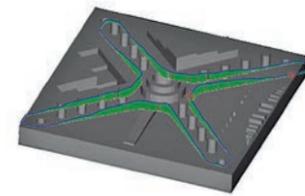


ポスト熱処理および母材除去

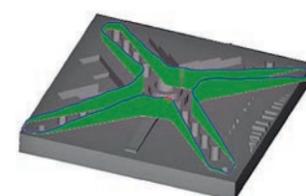


座標測定機(CMM)

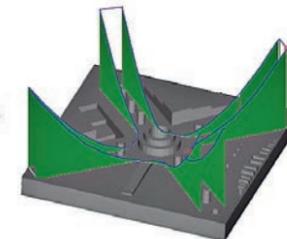
熱処理、取り外し、洗浄という3つの後処理ステップすべてで、部品の寸法をすばやく確認するためにCMMを使用することができます。接触式測定機では、様々な表面仕上げにおける測定課題への一貫した測定と、深い孔やくぼみの測定が可能で、部品密度に関わらず貴重な情報を提供できます。



製造後



熱処理後



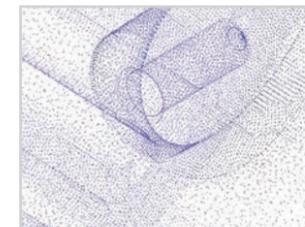
ビルドプレートから取り外し、洗浄

As built	After heat treatment	Removed from build plate
TP 4mm ID +X.X: 60.000 -0.019	TP 4mm ID +X.X: 60.000 0.074	TP 4mm ID +X.X: 60.000 -0.187
TP 4mm ID +X.Y: 0.000 0.000	TP 4mm ID +X.Y: 0.000 0.000	TP 4mm ID +X.Y: 0.000 0.000



3Dスキャナー

3Dスキャナーは、高速で高密度のデータを収集します。高密度データを生成して外部表面全体のデータを取得することで、部品全体と個々の特徴の形状、サイズ、位置を分析できます。



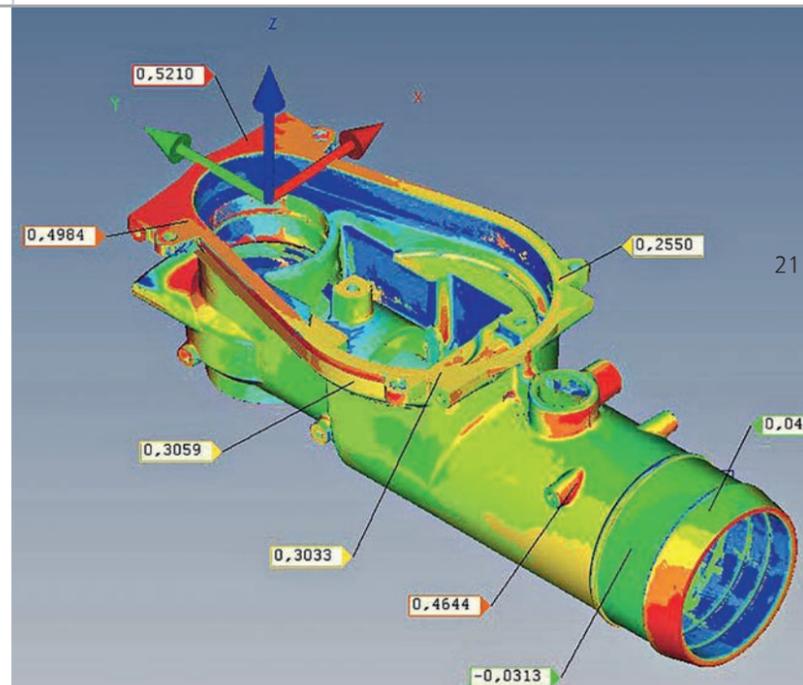
3Dスキャナーで生成された点群データ



取得された全データの点群

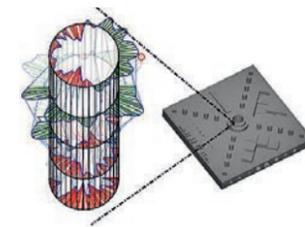


取得された点群をもとに算出した三角形メッシュ (STL)



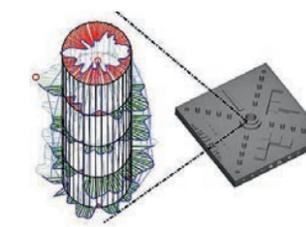
熱処理効果

孔やその他の特徴の形状、サイズ、位置は、熱応力の影響を大きく受けることがあります。部品は製造後の状態で公差内かもしれませんが、熱処理と部品取り外し後に、大きな歪みが生じることがあります。



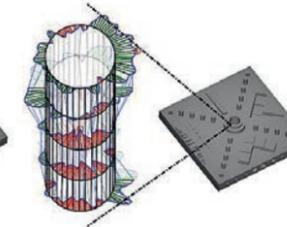
実測値
0.0531 mm

製造後



実測値
0.0457 mm

熱処理後



実測値
0.0387 mm

ビルドプレートから取り外し、洗浄

製造後

	Nominal size	Deviation
TP 4mm ID +X.X	60.000	-0.019
TP 4mm ID +X.Y	0.000	0.000

熱処理後

	Nominal size	Deviation
TP 4mm ID +X.X	60.000	0.074
TP 4mm ID +X.Y	0.000	0.000

ビルドプレートから取り外し

	Nominal size	Deviation
TP 4mm ID +X.X	60.000	-0.187
TP 4mm ID +X.Y	0.000	0.000

欠陥および内部構造の検査



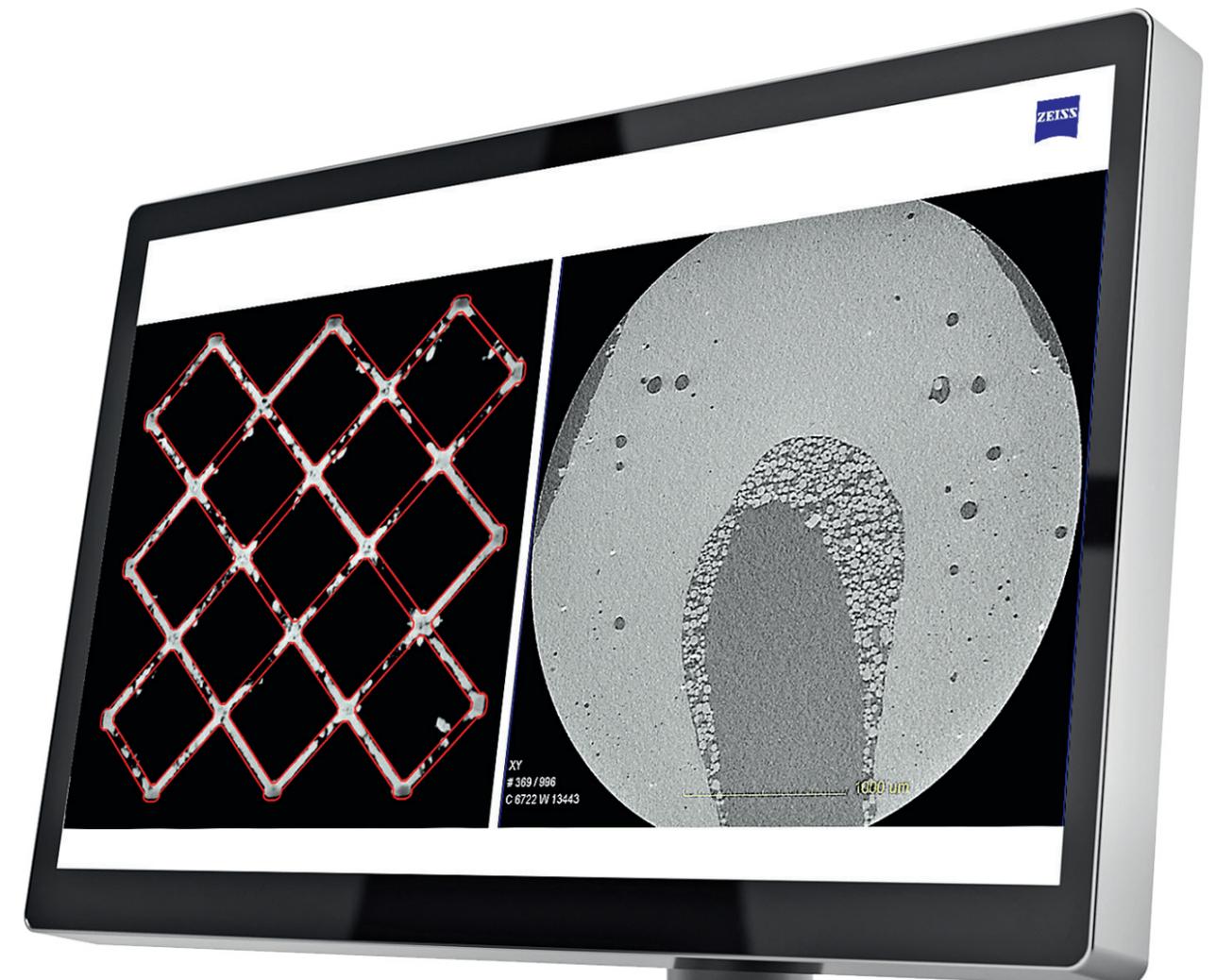
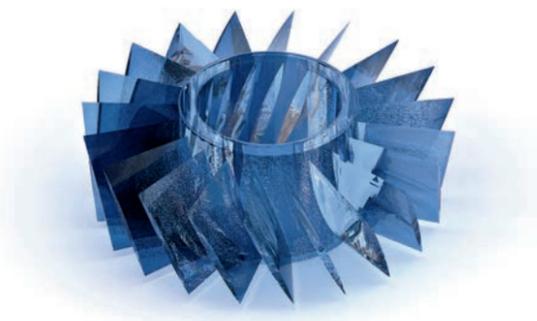
粉末の品質、粉末のレオロジー、プロセスパラメーターが不適切だと、構造内にボイドが形成されることがあります。LM で製造の品質、あるいは高分解能 X 線 CT で内部構造を検査することにより、粉末特性とプロセスパラメーターの影響を特定でき、最適な設定をより迅速に決定することができます。



光学顕微鏡 (LM)



X線コンピュータトモグラフィ (X線CT)

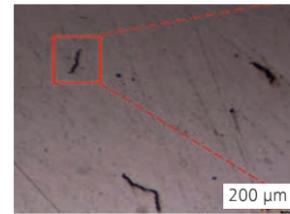


欠陥および内部構造の検査

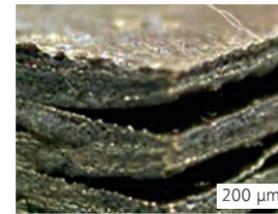


光学顕微鏡 (LM)

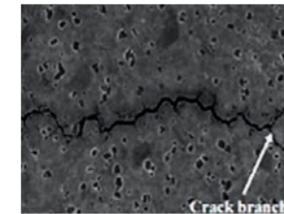
光学顕微鏡を用いて、製造物の表面と個々の特徴を詳細に観察することにより、部品の品質およびプロセスパラメーターに関連する欠陥について、貴重な情報が得られます。そして、細孔、マイクロクラック、剥離の発生に関する理解が深まります。



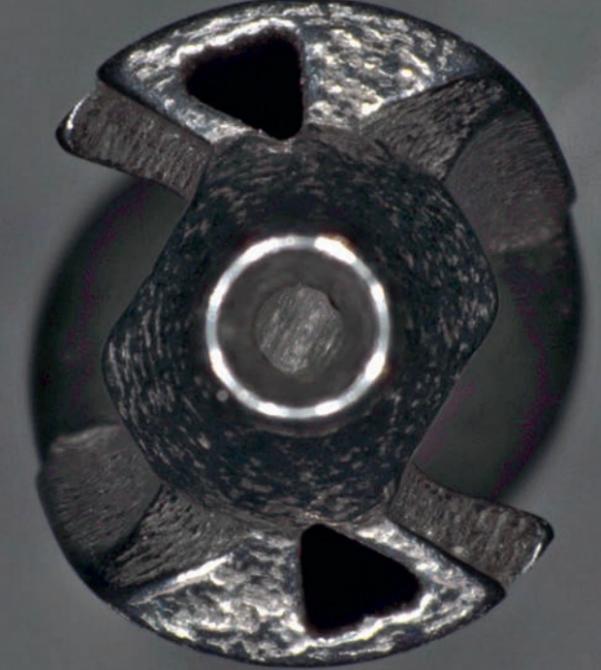
マイクロクラック



層間剥離

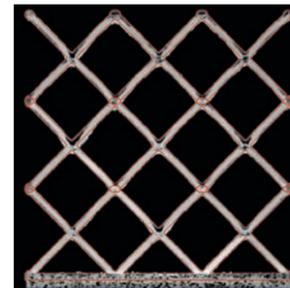


疲労き裂

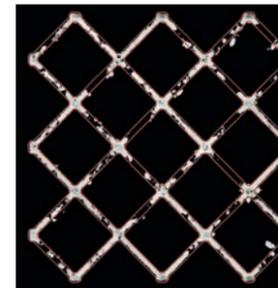


X線コンピューター トモグラフィー (X線CT)

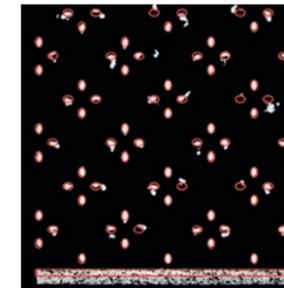
アディティブマニュファクチャリングにより、かつてないほど設計の自由度が広がり、複雑な内部構造の製造も可能になります。高分解能 X 線 CT によって、これらの構造の観察や、製造の潜在的欠陥の分析が可能になります。



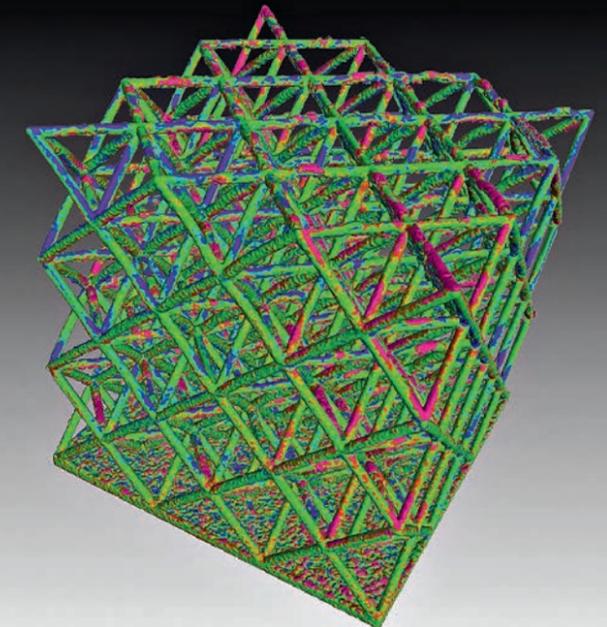
断面側面ビュー



断面上部ビュー



ノードビュー

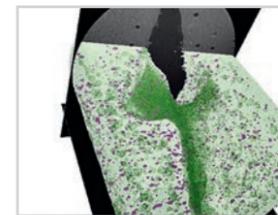


内部欠陥

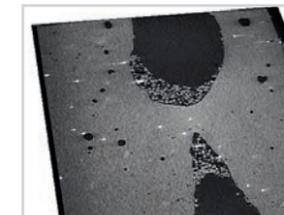
X 線 CT 検査と計測によって、製造物の完全性に関する情報が得られ、3D プリンティングプロセスを大幅に最適化できます。スキャンされた部品の画像は、どの方向からも断面表示することができ、CAD と比較できます。



19 μm ボクセル分解能イメージングで、個々の特徴とポロジティを観察



未熔融の粒子、介在物および小さなボイドの検出



3.0 μm ボクセル分解能イメージングで、細部を観察



プリント後の材料品質検査



従来の製造方法と異なり、アディティブマニュファクチャリングのプロセスでは、製造中に粉末を層から層へと熔融させる必要があります。熔融温度とプロセスパラメータは、結晶構造、ひいては部品の特性に大きな影響をもたらします。



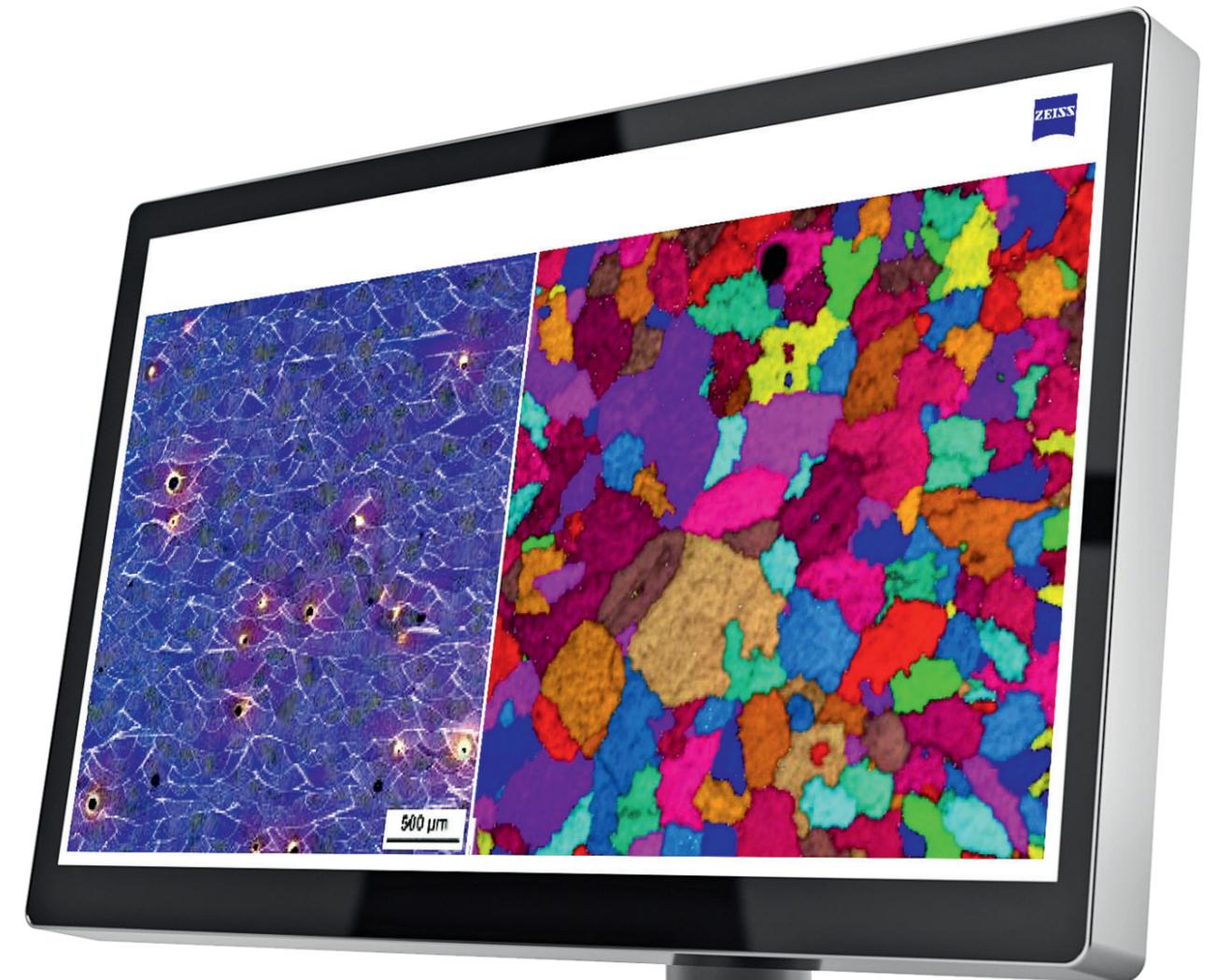
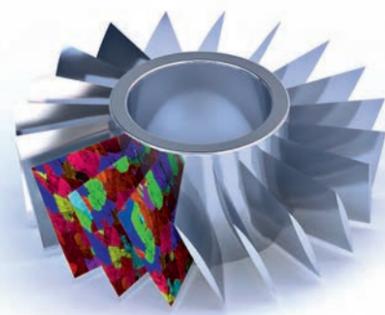
光学顕微鏡 (LM)



走査型電子顕微鏡 (SEM)



X線コンピュータトモグラフィ (X線CT)



プリント後の材料品質検査

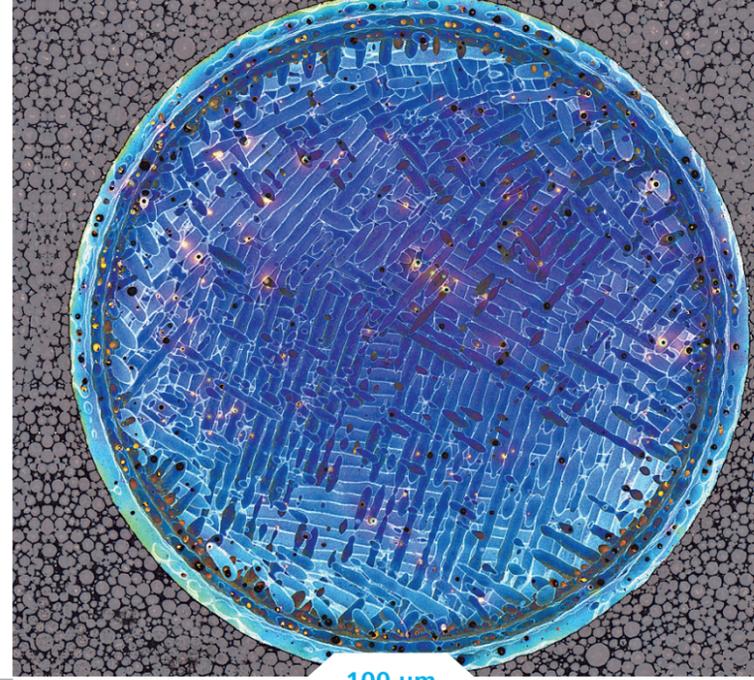


光学顕微鏡 (LM)

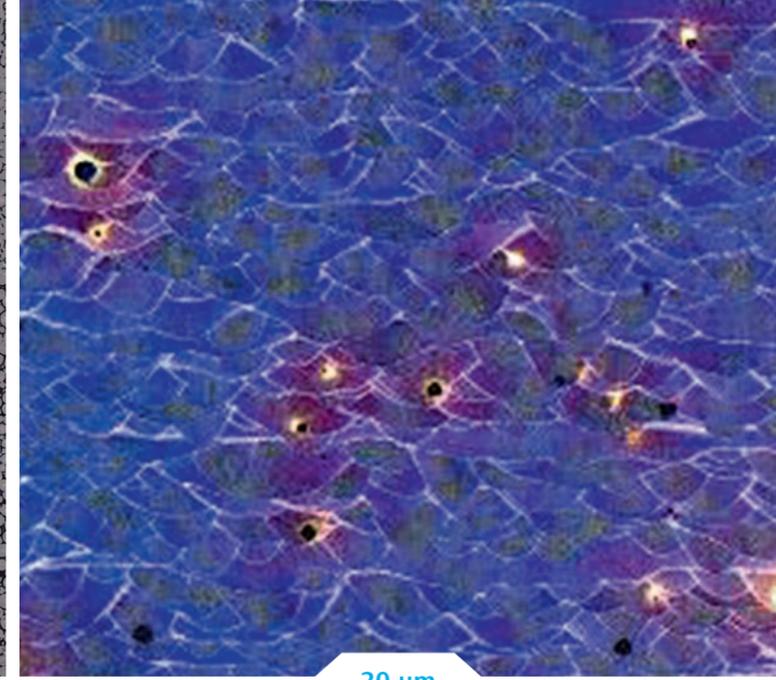
アディティブマニュファクチャリング部品は、エネルギー密度が高いため、通常、高い温度勾配と凝固率で作成されます。スキャンストラテジーと溶接プールは、光学顕微鏡で分析できる特徴的パターンの一部で、機械的特性に直接影響します。

> 光学顕微鏡
金属粉末の画像

AlSi10Mg 断面、製
方向の横断面と縦
断面



100 μm



20 μm



走査型電子顕微鏡 (SEM)

電子後方散乱回析 (EBSD) 搭載の SEM によって、微細構造 - 結晶特性評価と、単結晶または多結晶の材料研究が可能になります。

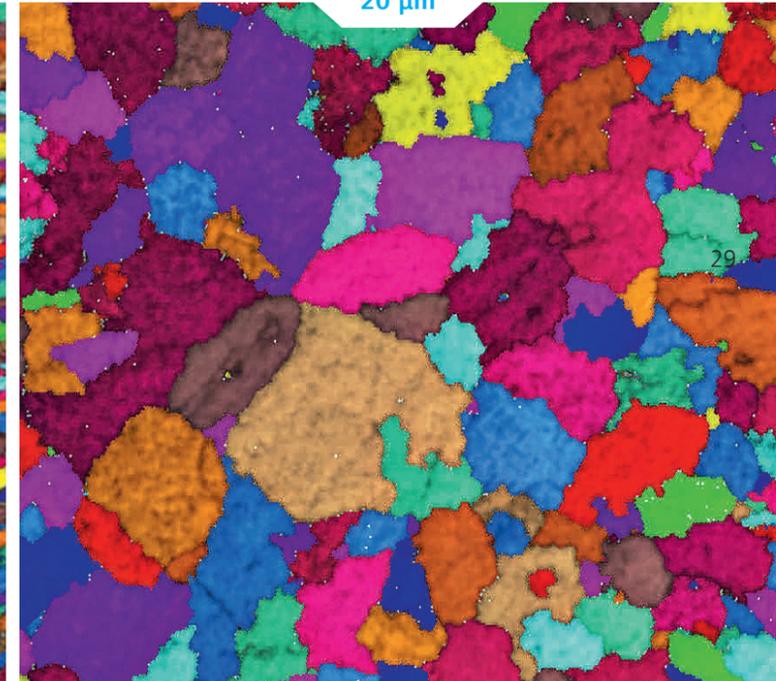
> 同エリア SEM、
EBSD

EBSD マッピング、
個々の粒子をカ
ラー表示、レー
ザー構造は見えな
い



CONVENTIONAL

100 μm



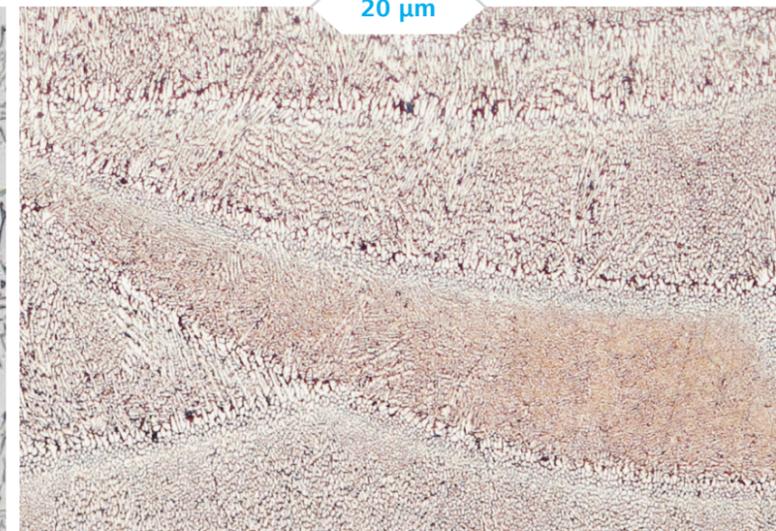
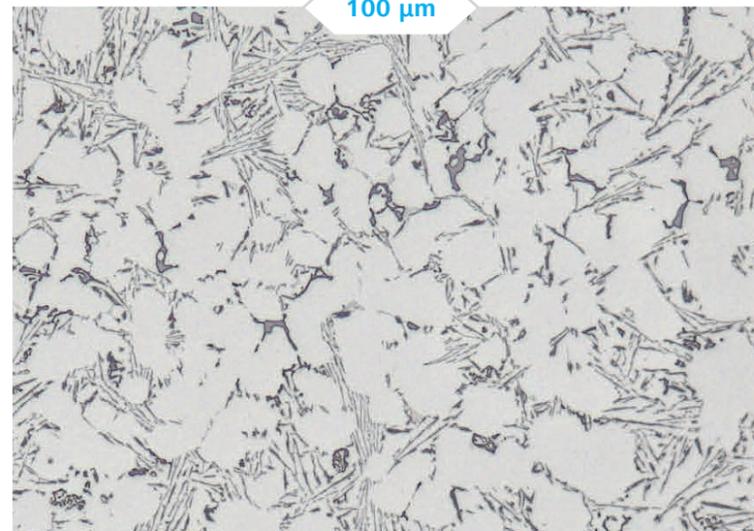
3D PRINTED

20 μm

粒子構造の分析

同一の材料でも、従来法で製造された原材料とアディティブマニュファクチャリングで製造された部品で、結晶構造がまったく異なることがあります。こういった違いは、完成部品の機械的特性に大きく影響します。

> 比較
従来法とアディ
ティブマニュファ
クチャリングで製
造された AlSi10Mg

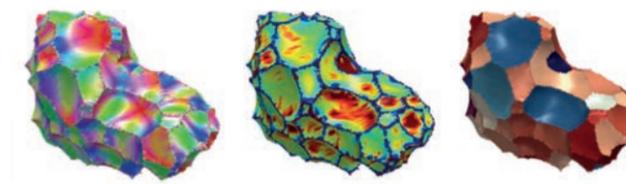


プリント後の材料品質検査

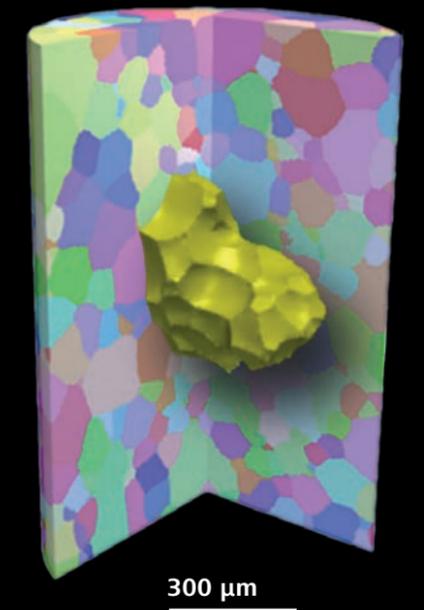


X線コンピューター
トモグラフィ (X線CT)
およびLabDCT

アディティブマニュファクチャリングによって、材料の微細構造をかつてないほどコントロールできるようになりました。LabDCTは、3D粒子構造解析ができるツールで、これをAMプロセスパラメーターと熱処理にリンクさせることができます。



粒界正常 粒界曲率 粒界方位差



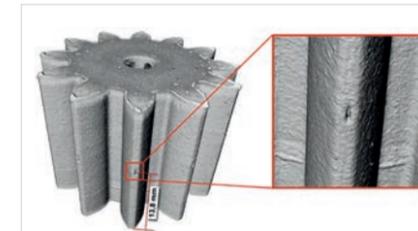
300 μm

相互相関

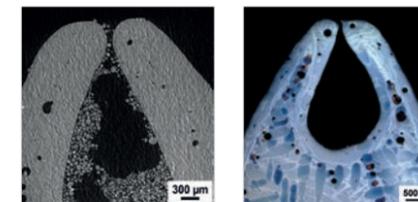
金属組織、ムラ、欠陥の分析は、多くの場合、異なる長さスケールで行う必要があります。そのため、光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡、CTのような異なるツールを使用します。ZEISSソリューションでは、異なるツールを使用して、関心領域を簡単にマーク、ナビゲートし、欠陥の根本原因を絞り込むことができます。



サンプル全体
(標準分解能 XRM)



関心領域 (ROI)
の定義



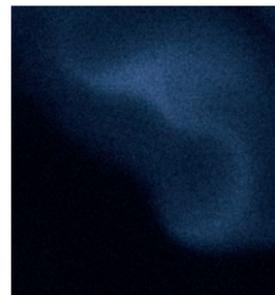
左：ROIの高分解能 XRM スキャンおよび光学顕微鏡スキャン
右：XRM と LM の相関データ



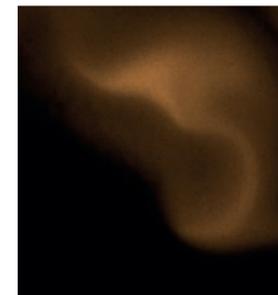
5 mm

化学組成分析

アディティブマニュファクチャリングでは、材料の化学組成が非常に重要です。SEMのオプション機能であるEDXにより、化学組成のマッピングが可能になり、これで冶金段階の特性評価と、材料中の不純物の検出ができるようになります。



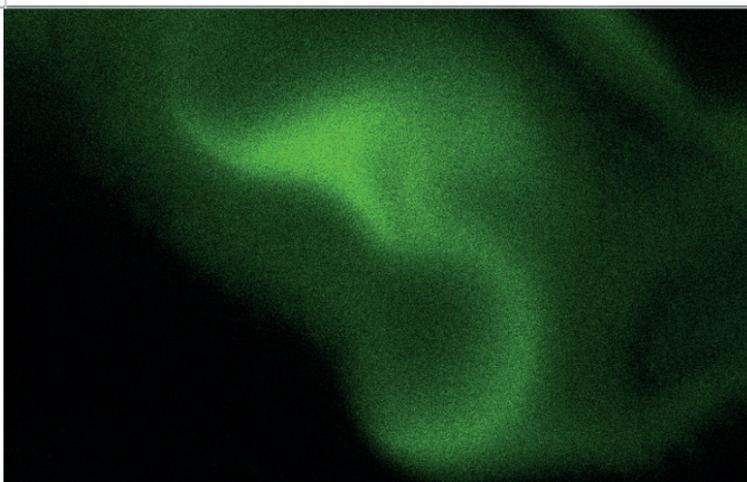
AM 製造の Al 合金内の Co からなる不純物の一部 (黒)



AM 製造の Al 合金内の Cr からなる不純物の一部 (黒)

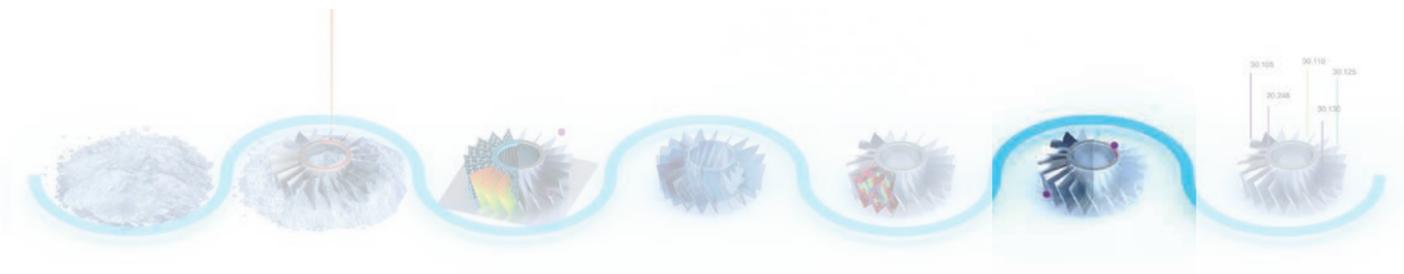


AM 製造の Al 合金内の Mn からなる不純物の一部 (黒)



AM 製造の Al 合金内の Fe からなる不純物の一部 (黒)

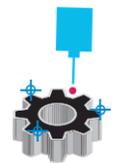
寸法および表面品質検査



寸法精度と表面仕上げは、複数の部品の一貫した整合性や正確な組み立てのために欠かせません。表面仕上げは光学的手法で分析でき、内部表面はX線CTで検査できます。完成部品の寸法精度は、CMM、光学3Dスキャナー、またはX線CTで確認できます。



光学顕微鏡 (LM)



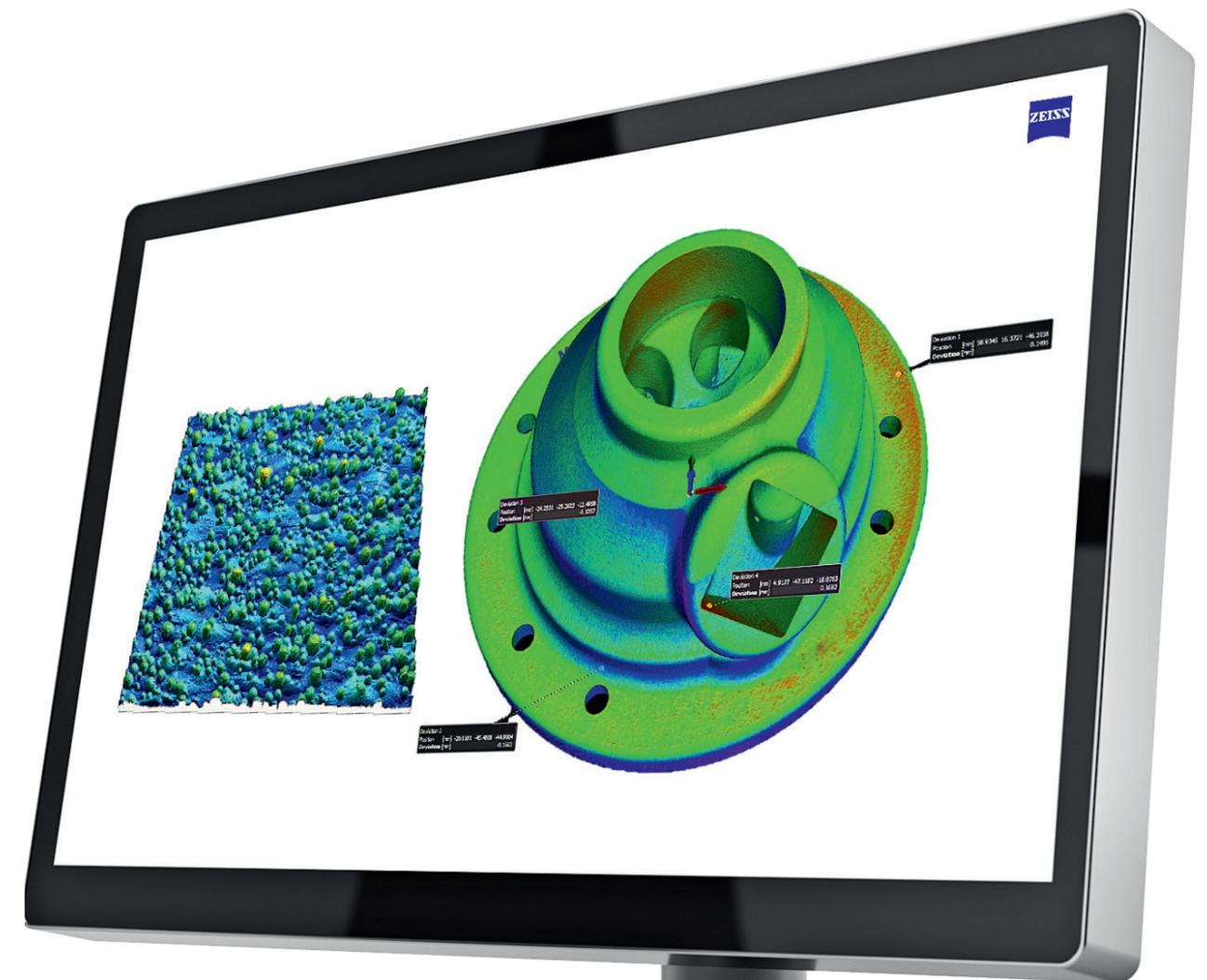
座標測定機 (CMM)



X線コンピュータトモグラフィ (X線CT)



3D スキャナー



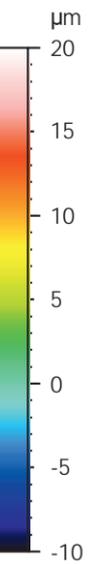
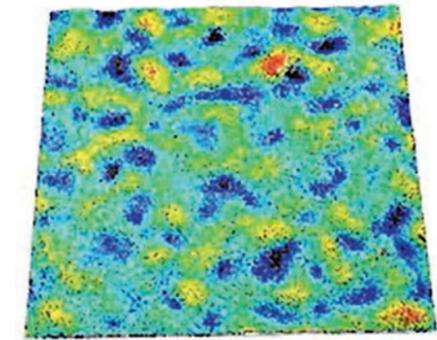
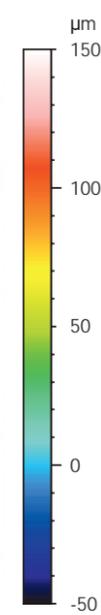
表面品質検査



光学顕微鏡 (LM)

表面品質で、部品の機能的および視覚的品質が決まります。光学プロフィロメーターは、比較的短時間で高密度データを取得し、関心領域表面の詳細なトポグラフィーマップを作成します。

> 製造部品の分析
サンドブラストの前後でLMを使用



As built

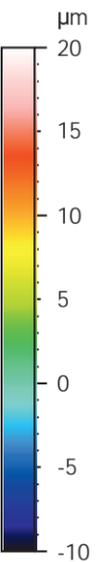
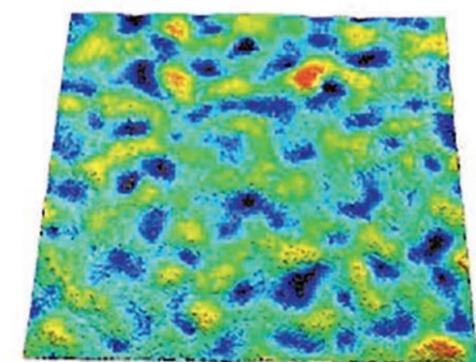
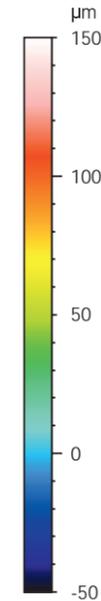
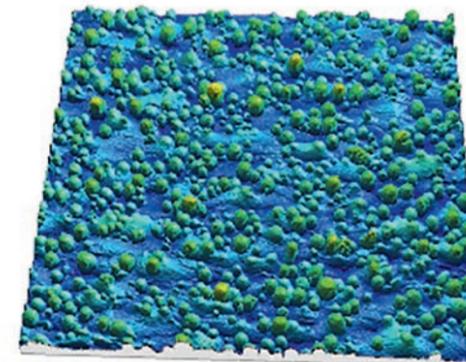
After sand blasting



X線コンピューター トモグラフィー (X線CT)

アディティブマニュファクチャリングによって、非常に複雑な内部表面の作成が可能になり、これは気体または流体の流れる流路として使われることもあります。内部表面仕上げは、光学プロファイラでは確認できません。このため、高分解能 X 線 CT が内部表面を分析する唯一の方法です。

> 製造部品の分析
サンドブラストの前後で高分解能 X 線 CT 使用



As built

After sand blasting

表面品質

表面粗さは、部品の機械的特性と視覚的品質にとっても重要です。アディティブマニュファクチャリングで製造された部品は、外からアクセスできず、見えない内部構造を持ち、とても複雑な場合があります。光学プロファイラーと高分解能 X 線 CT をうまく相関させて使用することで、位置（内部または外部）に関わらず詳細な表面分析ができるようになります。

> 表面分析結果の比較
LMおよびX線CTで取得

ISO 25178

高さパラメータ

	ZEISS Xradia Versa	ZEISS Smartproof 5	
Sq	15.1	14.8	μm
Ssk	0.700	0.776	
Sku	3.11	3.29	μm
Sp	66.9	71.3	μm
Sv	40.7	86.9	μm
Sz	108	158	μm
Sa	12.2	12.0	μm

ISO 25178

高さパラメータ

	ZEISS Xradia Versa	ZEISS Smartproof 5	
Sq	3.9	3.75	μm
Ssk	-0.174	-0.111	
Sku	3.52	3.57	μm
Sp	14.8	14.8	μm
Sv	26.4	23.8	μm
Sz	41.2	38.6	μm
Sa	3.06	2.93	μm

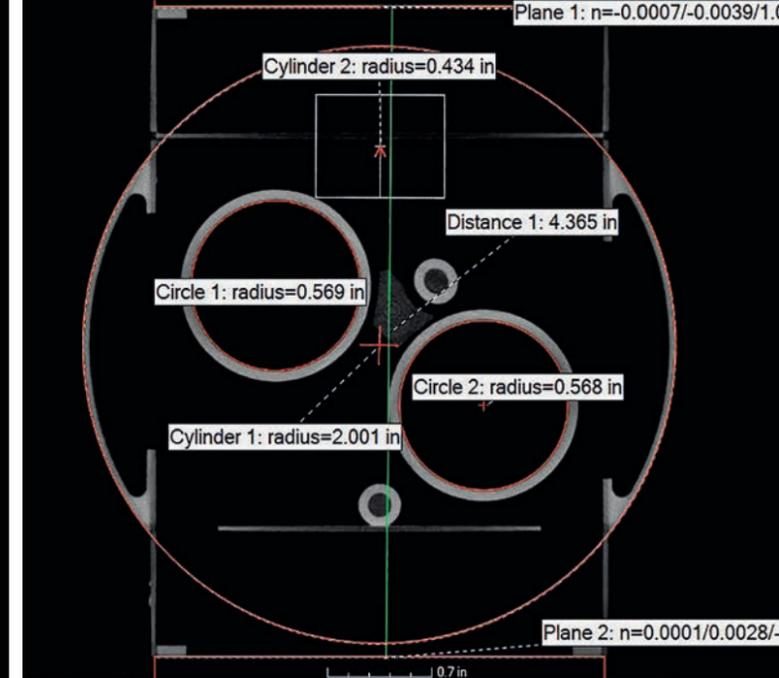
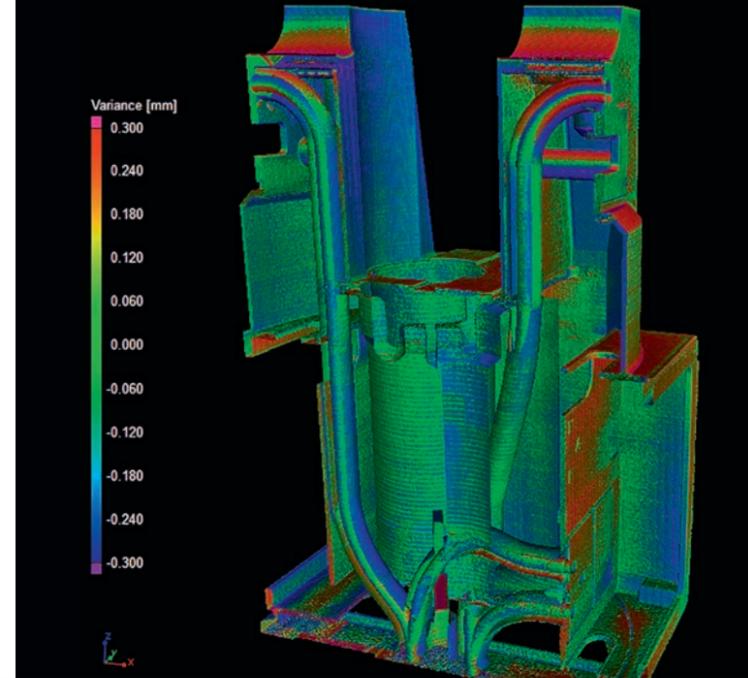
寸法品質検査



X線コンピュータトモグラフィ

アディティブマニュファクチャリングで製造された部品の寸法精度は、実際のシステムのパフォーマンスに影響するため非常に重要です。これらの部品は非常に複雑なため、X線CTがこの複雑な内部および外部特性を非破壊かつ正確な測定するための唯一のオプションになります。

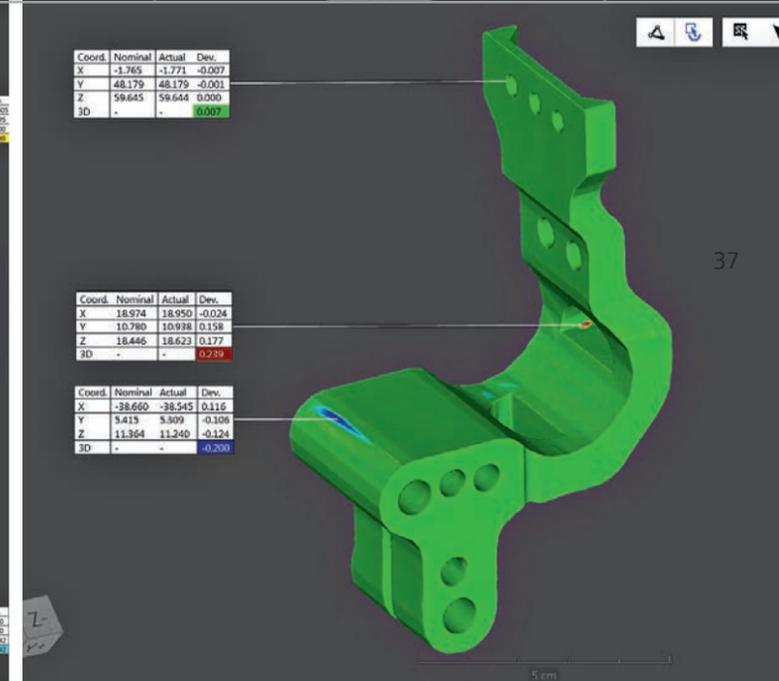
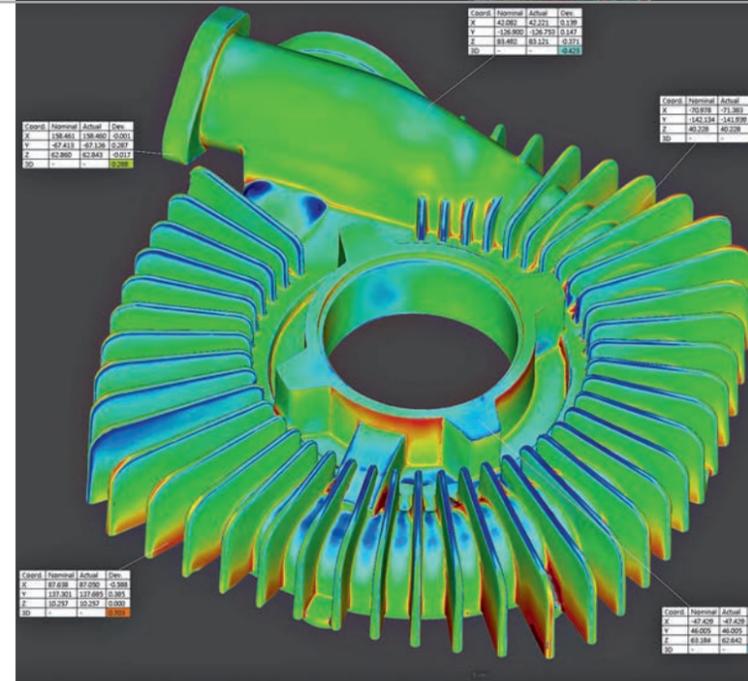
- > 内部特性のサンプル測定
X線CTを使用



3D スキャナー

3D スキャナーは、複雑な内部構造を持たず、外部の形状とサイズに関心のある部品に対して、X線CTの代わりに使用できます。

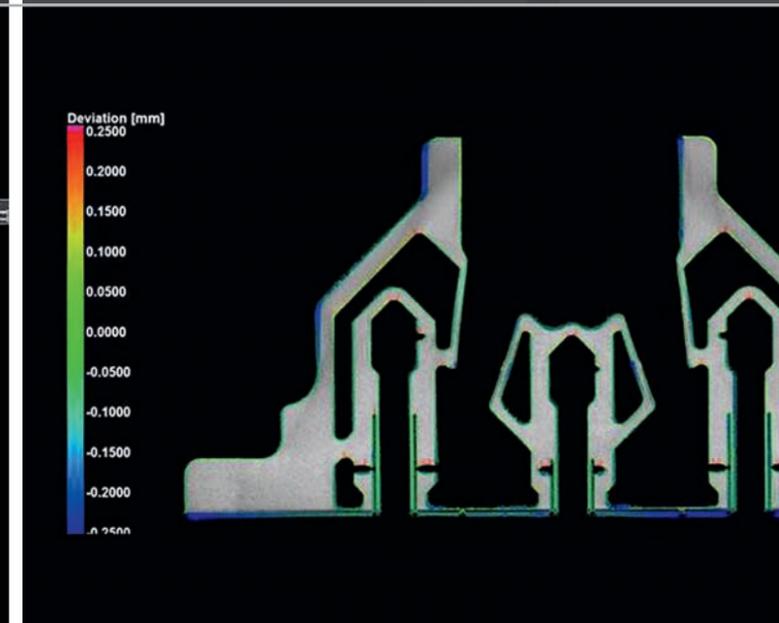
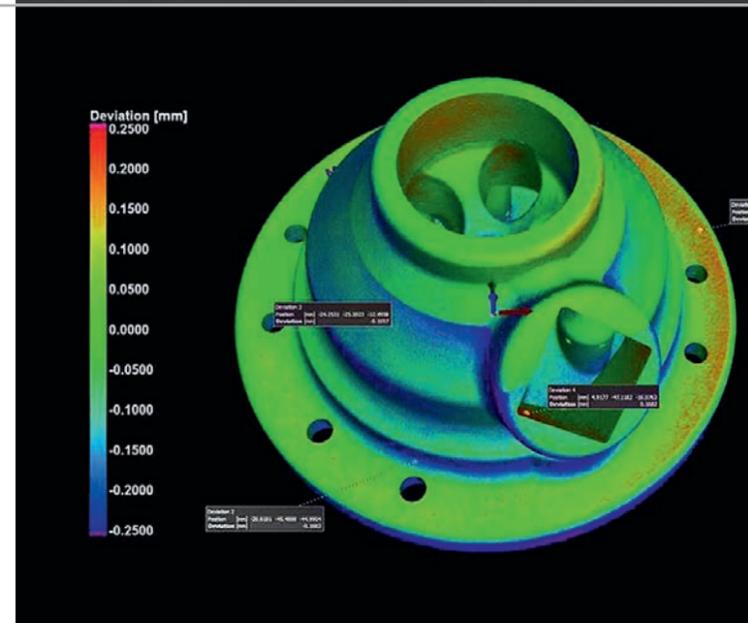
- > 部品の寸法分析
3Dスキャナー使用



寸法計測

多くの場合、3D プリンティングされた部品は、大きなシステムに組み込まれます。このため、寸法精度は、従来法で製造された部品と同様に重要です。製造物の品質を検証するには寸法を検証する機能が必要です。

- > 内部構造の寸法分析
X線CTを使用



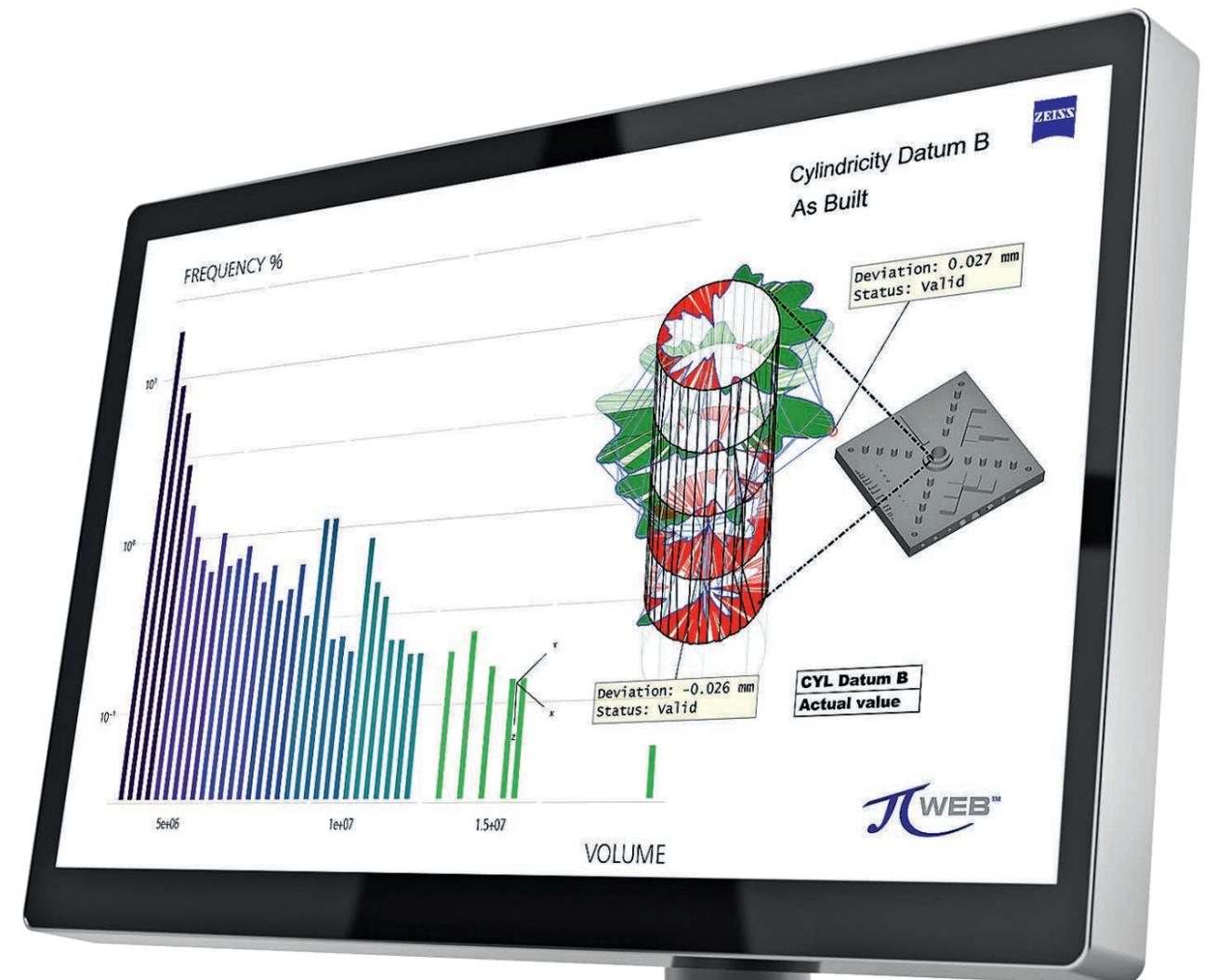
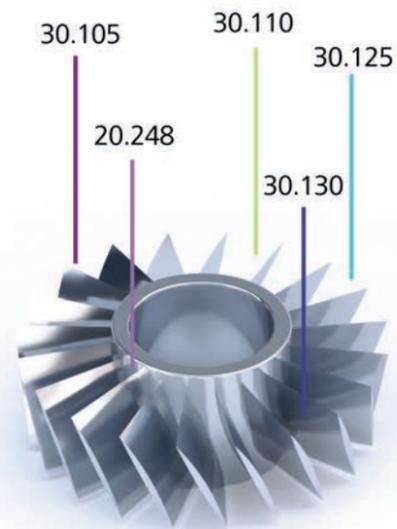
測定・検査データの統計解析

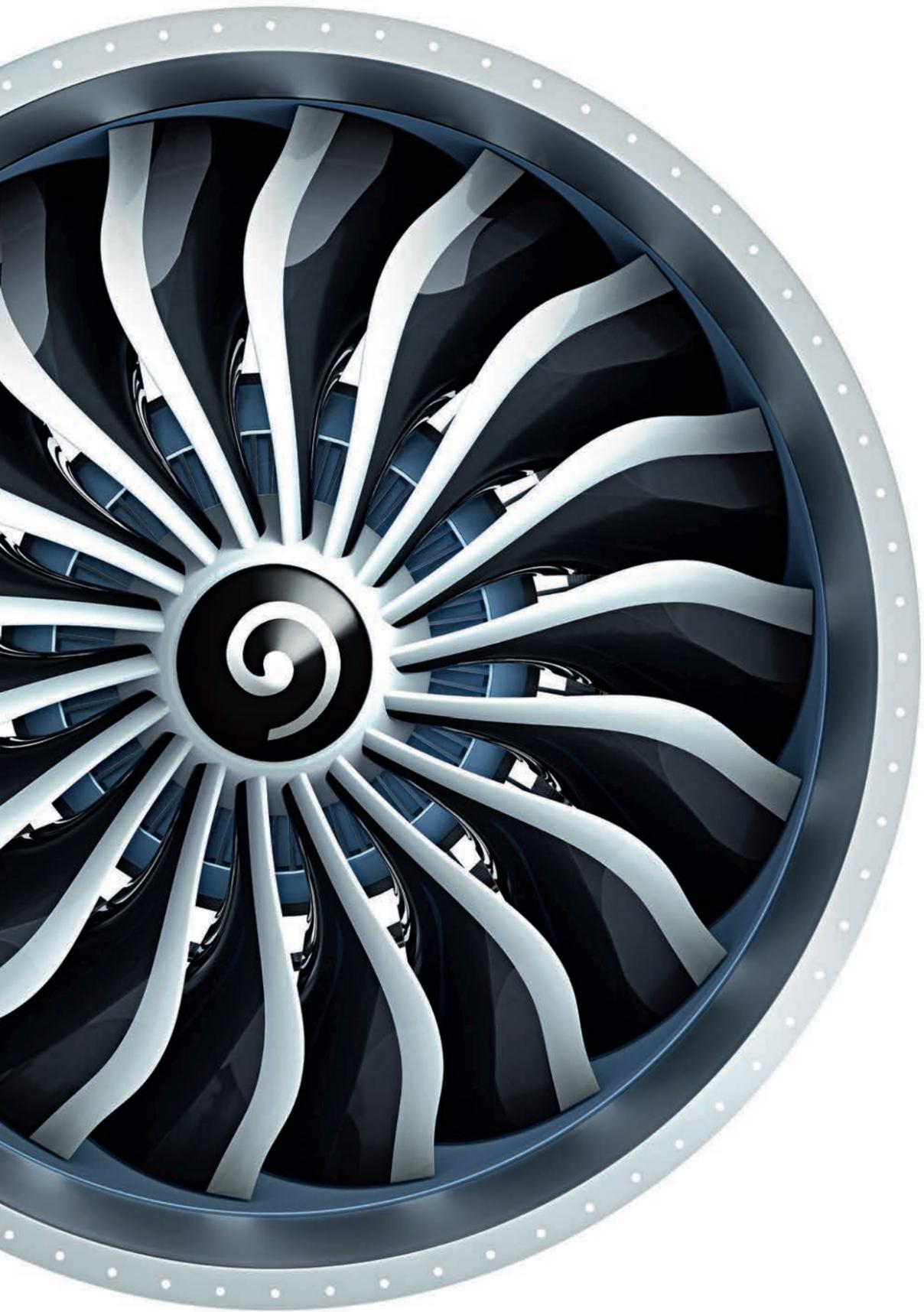


ZEISS PiWeb を使用してプロセスチェーン全体のデータ収集および分析を行うことで、プロセスの変化がさまざまな寸法や材料特性にどう関連するかを深く理解できます。すべてのプロセスステップにわたる結果の明確な表示と相関により、プリンティングストラテジーを迅速かつ効果的に開発し、歩留まりを向上させることができます。



ZEISS PiWeb

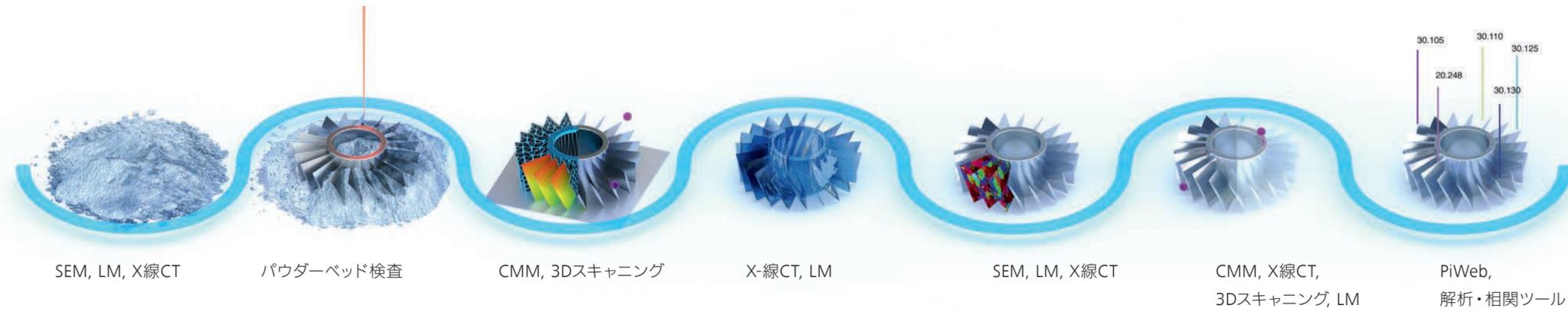




ZEISS 3D Manu**FACT**
ZEISSの包括的なソリューションで
生産性を向上。



ZEISS Portfolio



 走査型電子顕微鏡 (SEM)



ZEISS Crossbeam
研究グレードのFIB-SEMで、EDS、EBSDのためのナノスケールの材料除去や3Dトモグラフィーが可能。

ZEISS GeminiSEM
EBSDとEDS装備の高性能FESEMで、微細構造の結晶特性評価と粉末分析が可能。

 光学顕微鏡 (LM)



ZEISS Smartproof 5
詳細な表面分析のための高分解能・高速の光学プロファイルメーター。

ZEISS Axio Observer
材料分析とビルドパターンおよび断面の詳細な検査のための倒立顕微鏡



ZEISS EVO
EBSDとEDS装備のプロフェッショナルグレードのSEMで、微細構造と元素組成の効率的な特性評価が可能



ZEISS Smartzoom
デジタルマイクロスコープで、フォーカスを維持しながら、多方向からサンプルを表示。素早く簡単な操作性。

 パウダーベッド検査



ZEISS AMcontrol
パウダーベッドの欠陥を自動分析し、品質保証のための分類を行うためのインプロセスモニタリング

 X線CT装置 (X線CT)



ZEISS Xradia Versa
粉末、表面、500 nm までのボクセルサイズの構造の詳細分析をサポートする高解像度のX線顕微鏡(最大管電圧160 kV)。

ZEISS METROTOM
複雑な内部および外部構造を持つ部品の寸法計測と欠陥解析を行う高精度計測用X線CT(最大管電圧225 kV)

ZEISS VoluMax
大量生産品の異形状・内部欠陥の検出と自動判定を行う高速X線CT(最大管電圧225 kV)



BOSELLO SRE MAX
高密度材料で作られた大型部品も透過可能な高出力2D X線検査システム(最大管電圧450 kV)

 座標測定機 (CMM)



ZEISS DuraMax HTG
完成品の寸法精度に影響を及ぼす、後工程プロセスの検査に役立つコンパクトな現場対応型三次元座標測定機

 3Dスキャンニング



ZEISS COMET
完成品の寸法精度に影響を及ぼす、後工程プロセスのスピーディーな検査に役立つ3Dスキャナー

 ZEISS PiWeb



ZEISS PiWeb
ZEISS PiWebは、Industry 4.0での情報フローの管理に役立つ品質データ管理のためのスケーラブルなITソリューション

SEM

PIWEB

From Powder to Performance.

ZEISS 3D Manu**FACT**

// INNOVATION
MADE BY ZEISS

Carl Zeiss Japan Corporation
Industrial Quality Solutions
〒564-0062
大阪府吹田市垂水町3-35-22
Tel: 06-6337-8031
Fax: 06-6337-7804
Email: info.metrology.jp@zeiss.com
Internet: www.zeiss.co.jp/imt

こちらをご覧ください:
www.zeiss.com/metrology/additive-manufacturing