

## 金属積層造形の品質検証、付加価値の向上

松本幸礼、泉川達哉、山城 勝\*<sup>1</sup>

金属積層造形とは、近年普及の進んでいる3Dプリンターのなかで、金属粉末を原材料としているものである。金属積層造形は、中空品や微細形状など、従来の機械加工や型を使った成形では作ることが難しい形状が造形できるというメリットがあるが、造形姿勢による積層方向の違いで造形物の強度や変形量に差が生じる可能性のあることや、原材料である金属粉末が高価であるという弱点がある。

本研究では、造形姿勢や板厚の違いによる強度や変形量の差についての検証、高価な金属粉末を使ってもコスト的なメリットが得られる可能性のある付加価値の高い形状として微細穴とラティス構造を組み合わせた金型入れ子の内部構造の試作を行った。

### 1 はじめに

当センターでは、金属積層造形機を金型や金属部品の製作に利用している。本機器で使用可能な材料は強度と靱性を兼ね備えたマルエージング鋼一種のみである。

図1-1に機器の外観を、表1-1に機器の仕様を示す。



図1-1 金属積層造形機

表1-1 導入機器の仕様

機種名	EOSINT M270(ドイツEOS社製)
造形サイズ	250×250×H180 mm
造形ピッチ	0.04 mm
出力	ファイバーレーザー 200 W
硬度	HRC 33、時効処理後HRC 54
材料	マルエージング鋼 (1種のみ対応)
レーザースポット径	0.1 mm

金属積層造形は、中空品や微細形状など、従来の機械加工や型を使った成形では作ることが難しい形状が造形できるというメリットがあるが、造形姿勢による積層方

向の違いで造形物の強度や変形量に差が生じる可能性のあることや、原材料である金属粉末が高価であるという弱点がある。

本研究では、ひずみや変形の発生について、3次元測定機での定量的な測定によって、変形の傾向についての検証を実施した。また、金属積層造形の特徴を活かした造形で、付加価値の向上について検証を行った。

### 2 実験方法

#### 2-1 造形物の基本性状について

##### 2-1-1 板厚による造形不良の検証

薄板の試験片は金属粉末を敷き詰めるリコーターの進行方向に対し、平行、45度、垂直に変化する図2-1に示す形状の板とし、高さは100 mm、板厚は0.5 mm、0.8 mm、1.0 mm、1.5 mm、2.0 mmの5種について造形した。造形物を図2-2に示す。

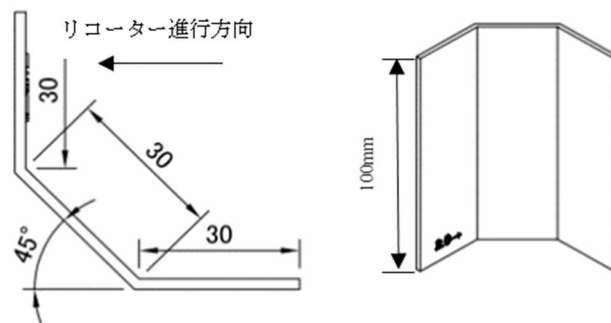


図2-1 薄板試験片形状 (高さ100 mm)

\*<sup>1</sup>沖縄県工業技術センター研究業務専門員

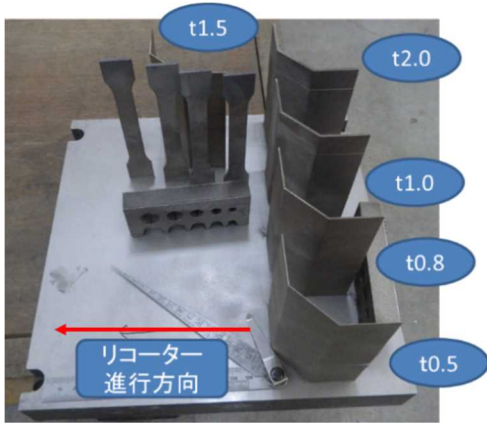


図2-2 薄板試験片の造形 (板厚0.5 mm~2.0 mm)

### 2-1-2 造形姿勢による強度、変形の検証

積層造形では造形姿勢による積層方向の違いによって造形物の強度が異なる事例がある。基本性状を把握するために図2-3に示す引張試験片を①縦、②横、③斜め45度で図2-4の様なレイアウトで造形し引張試験を実施した。造形状況を図2-5に示す。また、造形姿勢ごとの形状を非接触の3次元測定機:COMET L3D-8Mで測定し、変形量を求めた。

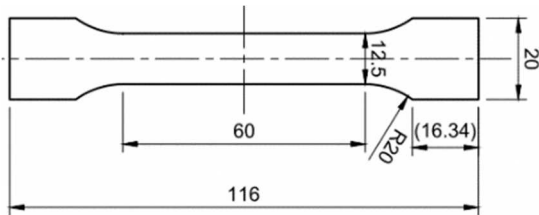


図2-3 引張試験片寸法 (板厚:2 mm)

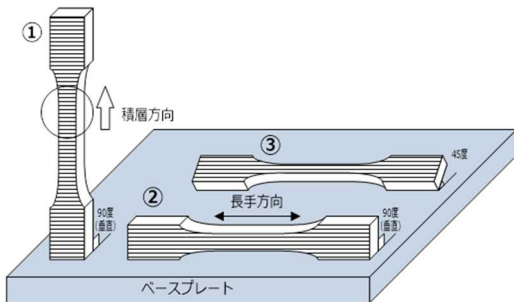


図2-4 引張試験片の造形レイアウト

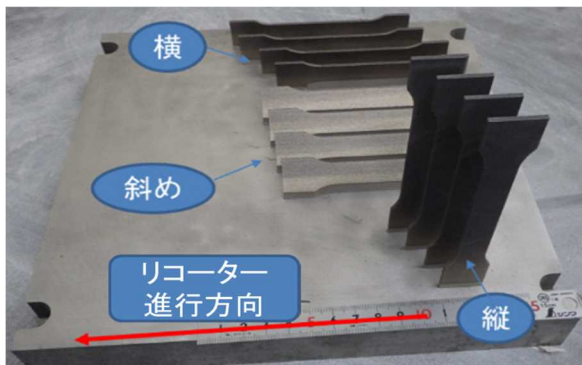


図2-5 引張試験片の造形状況

## 2-2 金属積層の特徴を活かした造形について

### 2-2-1 微細穴の造形

金属積層造形は、微細な穴の造形にも対応可能なことから、射出成形金型やダイカスト金型の「ガスベント」の造形・適用の可能性について検討した。従来のガスベントは、金型のパーティング面に切削加工する手法や、金型に入れ子としてポラス状のガスベントを挿入する手法などで製作される。ポラス状のガスベントは焼結合金を用いることが有り、高価となる部品も多い。金属積層造形が適用できると、金型と一体での造形が可能となり、部品点数削減、工数削減などのメリットがある。

今回は、穴形状の造形、およびその再現性を確認するため図2-6に示す様な通気孔を造形した後、デジタルマイクロスコープによる断面観察と、エアコンプレッサーを使った通気試験を実施した。

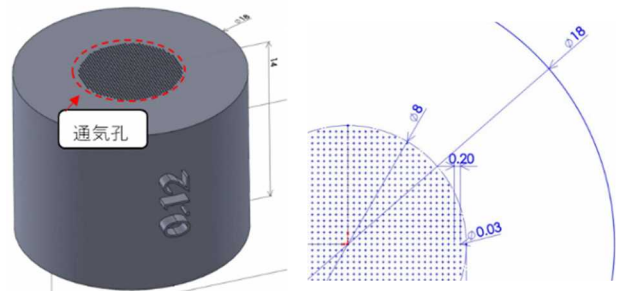


図2-6 ガスベントモデル (φ18、高さ14 mm)

### 2-2-2 ラティス構造の検討

ラティス構造とは、枝分かれした格子状のセルを周期的に並べた構造のことで、格子の形状や枝の太さ、およびピッチなどを適正に選択することによって、所望の機能を得ることができる。切削加工など従来の加工方法では製作が難しく、3Dプリンターならではの形状である。ラティス構造を用いると、物体の外観を変えることなく軽量化が図れるなどの利点がある。同一形状の部品を、中実で製作する場合とラティス構造の1つであるOctet truss relativeで製作する場合の重量や、体積などの比較例を表2-1に示す。ラティス構造では体積は約30%で、表面積は3.3倍となり、熱容量の低減や冷却効果の増大が期待できる。造形時間は5時間から4時間弱となり、25%程度の短縮でコスト削減にも繋がると期待できる。

表2-1 ラティス構造と中実構造の比較例

	Octet truss relative	中実
寸法 (mm)	30×30×30	←
重量(g)	64.1	218
体積 (mm <sup>3</sup> )	7918.5	27000
表面積 (mm <sup>2</sup> )	17844.8	5400
造形時間	3時間46分	5時間

当センターでは金属積層造形機の造形ソフトに Materialise Magics を使用している。本ソフトのラティス構造を作成する機能では、指定した領域を特定のラティス構造で埋め尽くすことができる。この機能を活用し、複数種の形状、サイズを試作し、強度の検証を実施した。選択したラティス構造の形状を図2-7に示す。図中の体積分率とは、中実に対しラティスの体積が占める割合、1セルとはラティス1つのことである。

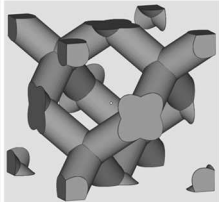
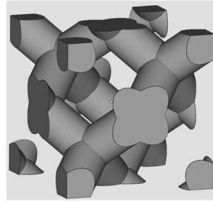
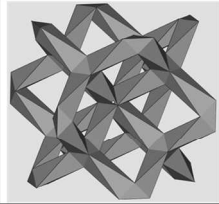
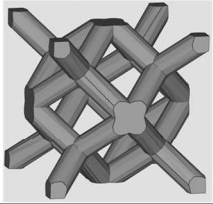
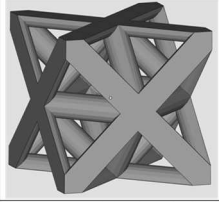
		
名称	diamond relative density 20%	diamond relative density 30%
体積分率	20.0%	29.6%
1セルの大きさ	10mm	8mm 10mm 12mm
線径	2.1mm	2.1mm 2.7mm 3.2mm
		
名称	Dode-Medium[msg]	rhomboh dodecahedron relative density
体積分率	12.6%	19.4%
1セルの大きさ	10mm	10mm
線径	1.5mm	1.4mm
		
名称	Octet truss relative density 30%	
体積分率	29.3%	
1セルの大きさ	8mm 10mm 12mm	
線径	1.4mm 1.7mm 2.1mm	

図2-7 ラティス構造の形状

2-2-3 微細穴とラティス構造の組合せの検討

金属積層造形の代表的な活用方法の1つに、金型内部の水冷管構造がある。切削加工と比較し、製品面に近い部位に3次元的に水路を設けることが可能となり、効率の良い冷却効果が見込める。更に金型の体積の一部をラティス構造にすることで成形時の金型の温度制御が容易

になる可能性がある。本項目ではラティス構造による熱容量の削減と、ガスベントの組合せの有効性について確認した。製作した形状を図2-8に示す。形状は30 mm角で上面と側面に微細穴加工、内部をラティス構造とし、造形を実施した。

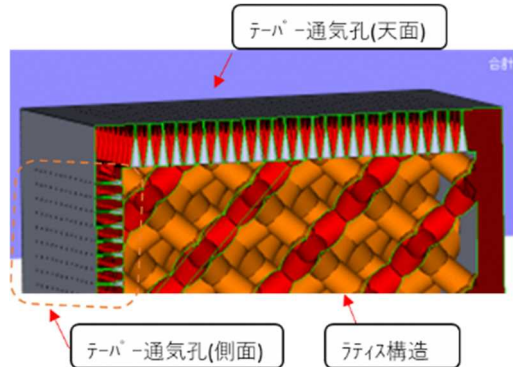


図2-8 微細穴とラティス構造の組合せ

3 実験結果および考察

3-1 造形物の基本性状について

3-1-1 板厚による造形不良の検証

図3-1に板厚0.5 mmの試験片の造形物を、図3-2に3次元測定機での測定結果をそれぞれ示す。リコーターの進行方向に依らず全体的にうねりが発生しており、破断が生じている場所もあった。ベースプレートから切り離れた後の下部の変形は最大で1.7 mm程度となっている。図3-3に示す様に板厚が0.8 mmの場合、もしくはそれ以上の板厚ではうねりは改善されおり、破断も発生していない。この結果から本造形機での板金物の造形時の下限の板厚は0.8 mmであると想定される。造形時の変形についても改善されており、ベースプレートより切り離れた後では図3-3の下部のオレンジ色部分に示すとおり0.7 mm程度となった。1.5 mm以上の板厚では、変形は生じているが、2.0 mmまでは板厚が増すとともに変形量は少なくなる傾向となった。測定結果を図3-4に示す。

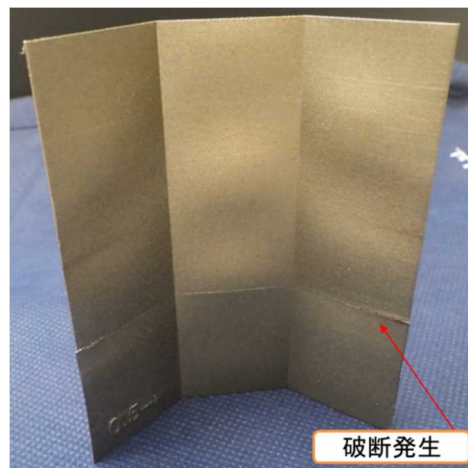


図3-1 薄板(0.5mm)の造形物



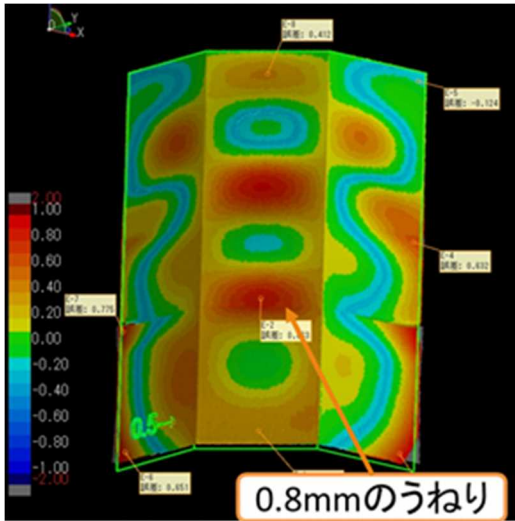


図3-2 薄板 (0.5 mm) 造形物の3次元測定結果

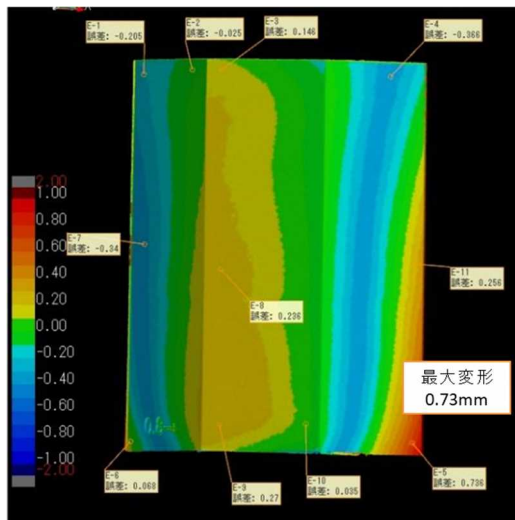


図3-3 薄板 (0.8 mm) 造形物の3次元測定結果

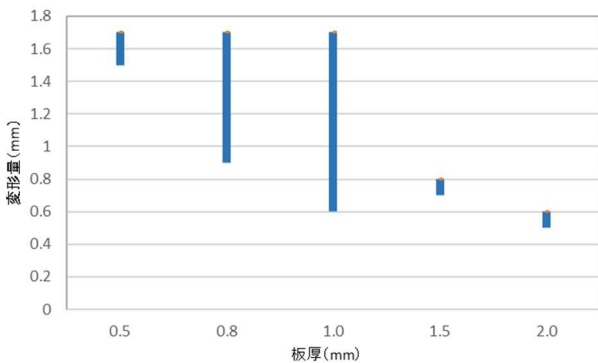


図3-4 薄板下部の変形量 (切り離し後、下から3 mm位置)

### 3-1-2 造形姿勢による強度、形状の検証

引張試験片は、①縦、②横、③斜め45度の3種類を各4本造形し、引張試験を実施したが、造形姿勢による強度の大きな差はみられなかった。結果を表3-1に示す。

これより、引張試験において、①～③の積層方向は、引張試験の長手方向の強度には影響しないと推察される。

また、3次元測定機で測定した結果を図3-5に示す。本図は③斜め45度で造形した試験片で、図中の中央部付近のオレンジ色部分では設計データに対し、0.2 mm程度の変形が見られた。その要因として、45度の造形は、サポートが必要となる境目の角度であるが、本造形時にはサポートを付与しなかったため、造形が不安定となっていることが想定される。なお、①縦、②横で造形した試験片の変形は0.1 mm以下となった。

表3-1 引張強さ

造形姿勢	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> ) (4本の平均値)
①縦	1939.4
②横	1937.5
③斜め (45度)	1935.0

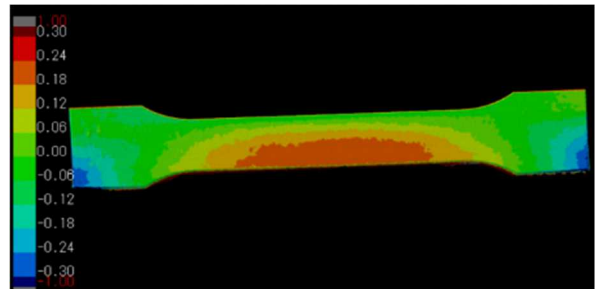


図3-5 斜め45度で造形した試験片の変形

## 3-2 金属積層の特徴を活かした造形について

### 3-2-1 微細穴の造形

ガスベントを想定してφ0.03 mm～φ0.12 mmまでの微細穴を造形し、造形可能な最小径について検討した。造形物を図3-6に示す。造形後の表面は僅かに凸凹が有りデジタルマイクロスコップでの観察に適しないため、表面から上部1 mmをワイヤーカット放電加工機にて除去後、観察を行った。造形物の断面写真を図3-7から図3-9に示す。図3-7に示す穴径φ0.03 mmの場合は、造形性が悪く、一部の穴のみ確認可能であったが、図3-8および図3-9に示すように穴径が大きくなるにつれ造形性が改善されていることが分かる。図3-10では、造形物の上下をワイヤーカット放電加工機で切断した試験片に石鹼水をつけ、裏よりエアーを吹き付けている状況を示す。穴径φ0.03 mmでは通気状態が悪いが、穴径φ0.05 mmでは改善された状況が確認出来た。



図3-6 φ0.03 mm～φ0.08 mm微細穴造形

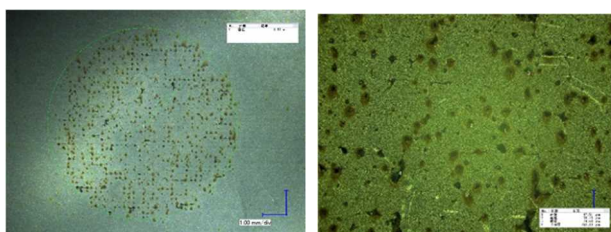


図3-7 穴径φ0.03 mm  
×25倍 ×100倍

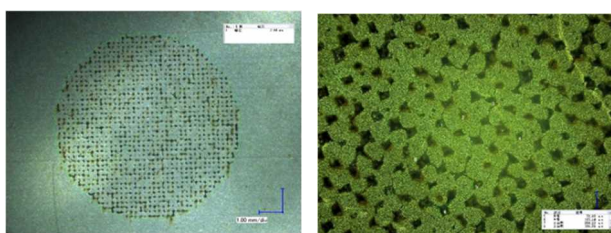


図3-8 穴径φ0.05 mm  
×25倍 ×100倍

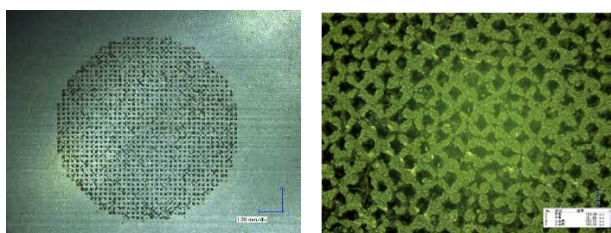


図3-9 穴径φ0.08 mm  
×25倍 ×100倍

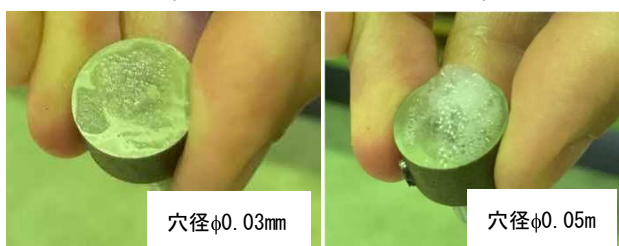


図3-10 通気試験

### 3-2-2 ラティス構造の検討

5種類のラティス構造の形状や、ラティス1セルあたりのサイズを8、10、12 mm、と段階的に変化させて造形した試験片の圧縮試験を実施した。圧縮試験実施状況を図3-11に示すとともに、圧縮試験の結果を図3-12に示す。

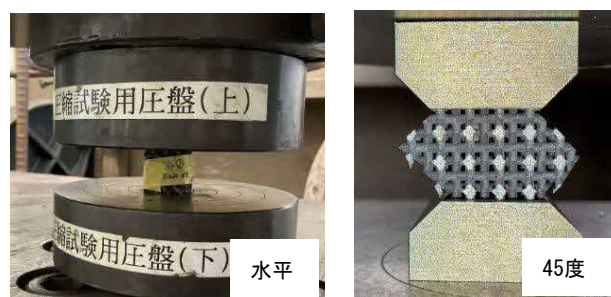


図3-11 圧縮試験

この結果より、ラティス構造の形状による強度への影響は大きいことが分かった。また、1セルのサイズによる差も確認できた。最も強度が高いラティス構造はOctet truss relative であり、その中でも1セルのサイズ10 mmの場合に最大の強度を示した。図3-13にその形状を示す。この形状が最も高い強度となった要因として、ラティス構造の格子形状が断面で連続していることや、1セル中の線径、節間の距離が適正であったことなどが推察される。

荷重方向による強度の測定結果を図3-14に示す。水平荷重と45度荷重による大きな優劣差は見られず、形状やセルのサイズによって傾向の異なる結果となった。

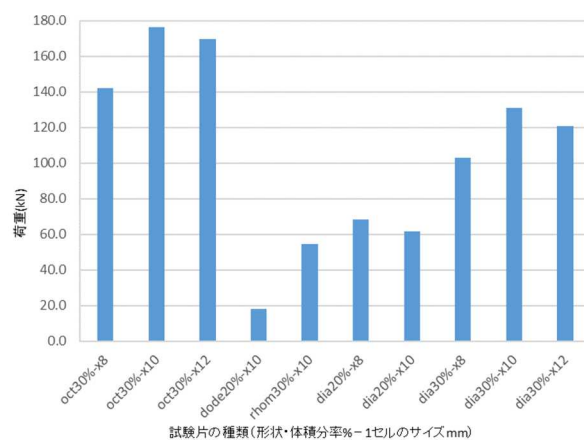


図3-12 水平圧縮荷重  
(30 mm角、形状、セルサイズ違い)

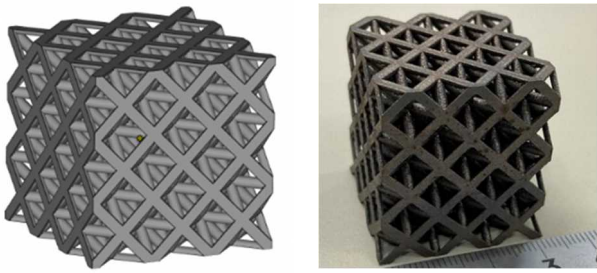


図3-13 Octet truss relative 1セル10 mm  
造形サイズ30 mm角のデータと造形物

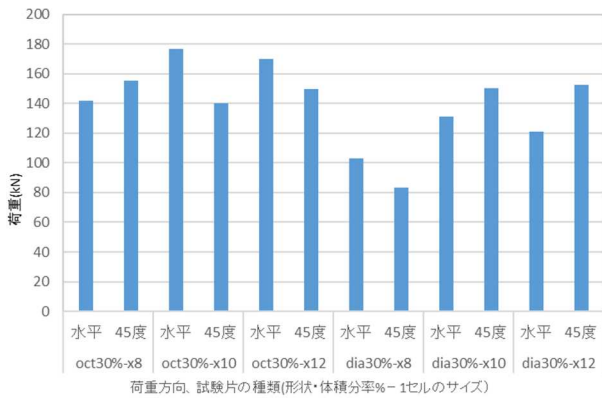


図3-14 水平、45度荷重比較

### 3-2-3 微細穴とラティス構造の組合せの検討

造形物表面に微細穴を設け、内部はラティス構造とした造形物のカットモデルを図3-15に示す。ラティス構造の天面に設けた通気穴は、当初ストレート穴で造形したが通気試験において通気しないことが分かった。この要因として、ラティス構造のある内部構造の天面は本来、サポートを必要とする角度であるため造形不良が発生、表面が荒れた状態となり穴が塞がれた状態に至ったと考える。改善策として穴形状を図2-8に示したように、ラティス構造と接する穴径を大きく、成形面と接する上面の穴を小さくテーパ形状とすることにより、0.08 mmの穴径で通気性能を確保することが出来た。側面についても同様の結果となった。ガスベントとラティス構造を組み合わせたモデルについて、造形後、下面をワイヤーカットで切断した造形物での通気試験状況を図3-16に示す。

ある領域に対してラティス構造を適用した場合、体積の減少量に対応して熱容量も小さくなる。表2-1で示したようにトラス構造としてOctet truss relativeを使用した場合、その体積は中実の約30%となるため、同様に熱容量も約30%になることが期待できる。

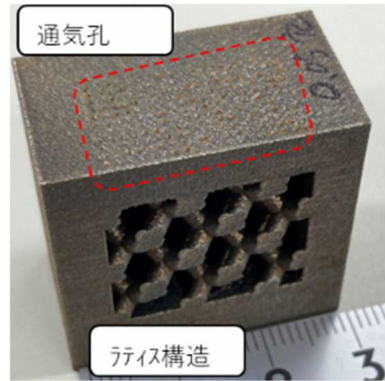


図3-15 ガスベントとラティス構造の  
カットモデル

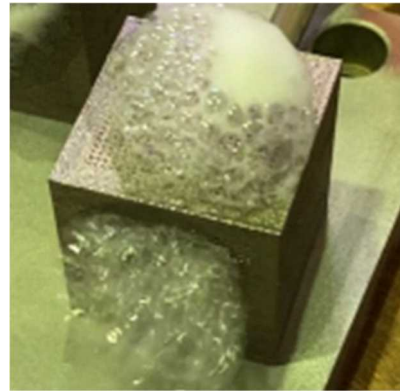


図3-16 通気試験状況

## 4 まとめ

金属積層造形は、切削加工と比較し材料費が高価であることや、造形に掛かる時間が長い、サポートの付与が必要、造形後にサポート除去や仕上げ加工が必要、熱変形が生じるなど、デメリットが多く存在するが、それでも、ラティス構造や微細穴、曲線状の穴など、切削では加工が困難な形状について、積層造形ならではのメリットが得られる場合もある。

今回の研究では、当センターで所有する機器で実現可能な形状や強度などを検討した。これまで、金型の冷却管構造は、従来と同じ発想で中実の形状内に冷却管を造形していたが、今後はラティス構造などを活用し、冷却効果の向上、軽量化、低コスト化を図り、金属積層造形の技術力向上、付加価値の向上を図る一助としたい。

本研究は、令和2年度～令和4年度沖縄県産業振興重点研究推進事業「金属積層造形の品質検証、付加価値の向上・2019技016」として実施したものである。

## **Verification of quality of metal additive manufacturing and improvement of added value**

Yukinori MATSUMOTO, Tatsuya IZUMIKAWA, MasaruYAMASHIRO\*<sup>1</sup>

Okinawa Industrial Technology Center

\*<sup>1</sup>Reserch Specialist: Okinawa Industrial Technology Center

Among 3D printers where use has spread in recent years, printers using metal powder as the raw material are said to perform metal laminating shaping.

Although metal additive manufacturing has the advantage that it can create hollow and fine shapes that were difficult to make by conventional machining and molding using a die, it has the disadvantages that there is a possibility that the strength and deformation vary depending on shaping posture and lamination direction and because metal powder as the raw material is expensive.

In this research, the difference in the strength and deformation due to shaping posture and plate thickness was verified, and trial manufacture of an internal structure of an insert die was performed combining fine holes and a lattice structure as a high value-added shape with the possibility of obtaining a cost effective advantage even if expensive metal powder is used.



編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターにご連絡ください。