

# 機能的な小型軽金属部品の成形技術に関する研究

松田豪彦\*, 桑原田 聡\*, 田中耕治\*\*

## Study on Forging Technology of the Functional Small Part of Light Metals

Takehiko MATSUDA, Satoru KUWAHARADA and Koji TANAKA

軽金属であるアルミニウム合金（A6061）の円柱材を用いて、1回のプレス振幅で円筒部とフィン部を備えた部品形状に成形加工する押出し鍛造加工を試みた。逐次加工実験により、加工過程の成形品形状やパンチ荷重－パンチストロークの関係を明らかにし、良好な成形品が得られることを確認した。また、マグネシウム合金の変形を再現するモデル材料を用いて、同加工の物理シミュレーションを行った。その結果をもとに、実際にマグネシウム合金（AZ31）を用いた同加工実験を行い、良好な成形品が得られることを確認した。また、得られた両合金の成形品を用いて放熱実験を行い、温度変化や表面温度の測定結果を比較した。

**Keyword :** 軽金属, 押出し鍛造, モデル材料, 物理シミュレーション, 放熱

### 1. 緒 言

電子機器や照明機器等の部品には、軽金属であるアルミニウム合金（以下、Al合金）が用いられることが多い。中でも放熱用部品は、表面積を大きくするためフィンが付加され形状が複雑になっている。

複雑形状部品は、成形加工が容易ではないことから、部品を分割して成形し、組み付け工程を経て目的の部品形状を得る方法が用いられる。しかし、部品の分割は、部品点数と工程の増加を招く。また、複雑形状部品の加工法には、鋳造が頻繁に用いられる。鋳造は、あらかじめ材料を溶解するまで加熱する必要があるため、溶解に多大なエネルギーを要し、鋳込みから離型までの工程にも時間を要する。さらに湯口及び湯道等を除去する後加工も必要である。

このため、複雑な形状であっても部品形状を分割することなく、鋳造に要する溶解エネルギーを必要としない低コストで高効率な生産方法が望まれている。

本研究では、これらの要求を実現する加工法として、塑性変形を利用した押出し鍛造加工を試みた。材料にはAl合金（A6061）の円柱材を用い、金型（パンチ、ダイス）と油圧プレス機を使用し、1回のプレス振幅で成形を完了させることを目的に、複数のフィンと円筒を備えたヒートシンク部品へ成形させた。また、逐次加工実験により加工過程の形状及びパンチ荷重等を明らかにした。

次に、実用金属中最も軽くAl合金の代替材として注目されつつあるマグネシウム合金（以下、Mg合金）に着目し、押出し鍛造加工を適用できるか検証を行った。Mg合金は、軽量化のニーズに対応できる軽金属材料として利用拡大が

期待されているが、加工技術の確立が課題となっている。本研究では、まずMg合金の変形を再現できるモデル材料を用いて、同加工のモデル実験を行った。その結果をもとに、実際にMg合金を使用した加工実験を行った<sup>1)~3)</sup>。

さらに、得られた両合金の成形品を用いて放熱実験を行い、結果の比較を行った。

### 2. Al合金を用いた押出し鍛造による成形評価

#### 2. 1 実験方法

1回のプレス振幅で材料を目的の形状に成形するため、本研究では、前方押出し加工と後方押出し加工を組み合わせた押出し鍛造加工実験を行った。目的の成形品形状と中心断面及び寸法を図1に示す。成形品は、円筒部とフィン部で構成されており、円筒部が外径35mm（凸壁部除く）、内径31mmである。なお、円筒部側面には、高さ1mm、幅6mmの凸壁部が8つある。フィン部は幅7mm、厚さ2mm、高さ12mmの8つのフィンで構成されている。

加工実験の概略を図2に示す。供試材料には直径35mm、高さ12.5mmの円柱形状のAl合金（A6061）を使用した。押出

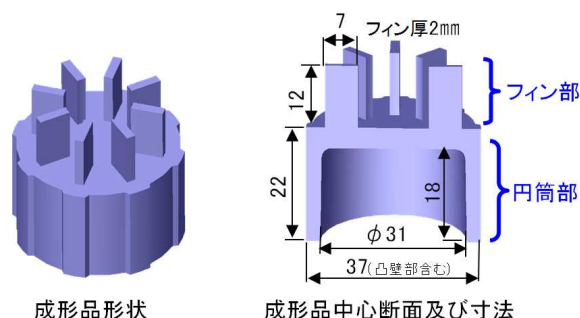


図1 目的の成形品形状と中心断面及び寸法

\*生産技術部

\*\*企画支援部

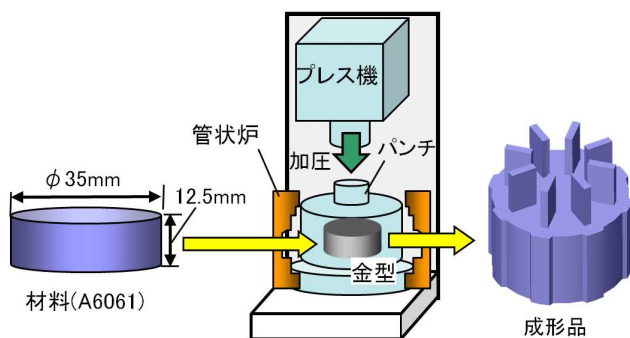
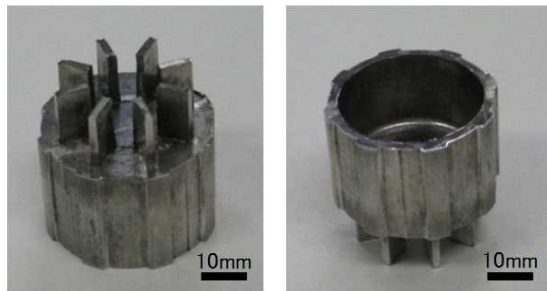
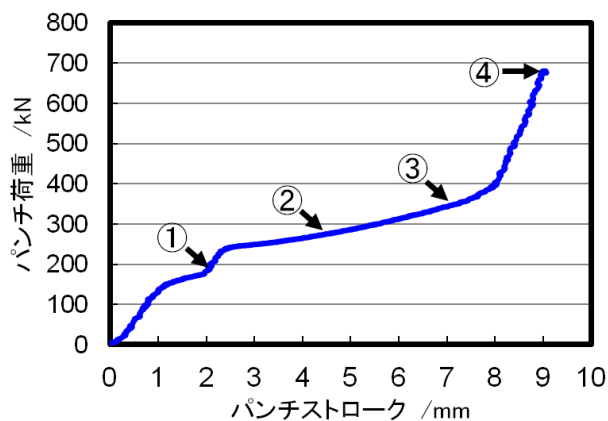


図2 加工実験の概略

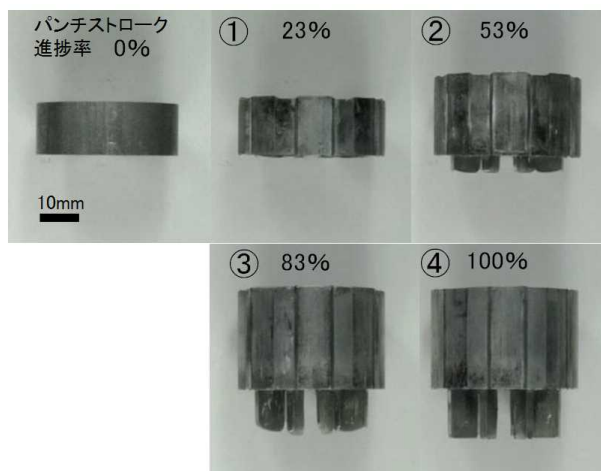


成形品 (フィン側)      成形品 (円筒側)

(i) Al合金 (A6061) による成形品



(ii) パンチ荷重—パンチストロークの関係



(iii) 逐次加工過程の成形品形状

図3 Al合金 (A6061) を用いた実験結果

し鍛造加工では、プレス機が金型のパンチを下降させて材料を加圧し、パンチの動く方向に押出す前方押し出しでフィン部を成形し、パンチの動きと逆向きに押出す後方押し出しで円筒部を成形した。金型は、熱間工具鋼SKD61で製作し、所定の焼入れ、焼き戻しの熱処理を施した。加工実験は、あらかじめ材料と金型を管状炉で加熱し、加熱温度380℃でプレス機のラム速度0.5mm/sの条件で実施した。潤滑剤には黒鉛系潤滑剤を使用した。加工中は、荷重計と変位計を用いて、パンチ荷重及びパンチストロークを測定した。また、加工途中の成形品形状を調べるため、逐次加工による4つの成形品取得（最終成形品を含む）を行った。

## 2. 2 実験結果及び考察

Al合金 (A6061) を材料に使用し押し鍛造加工実験で得られた結果を図3に示す。図中(i)に得られた成形品を示す。成形品に欠肉等は見られず、フィン部及び円筒部ともに目的どおりの形状が得られていた。また、寸法については図1に示した寸法値に対して $\pm 0.05\text{mm}$ の精度が得られていた。加工中のパンチ荷重—パンチストロークの関係を図中(ii)に示す。また、同図中に記した番号①～④のパンチストロークにおける成形品形状を図中(iii)に示す。①では、円筒部側面の凸壁部が成形され、荷重が僅かに増加した。②では、フィン部と円筒部の成形が同時に進む過程であった。パンチストロークの増加に対し荷重はゆるやかに増加していた。このときのパンチ荷重は、240kN～390kNであった。③では、円筒部が端部を残しほぼ成形されていた。④ではすべての成形が完了した。このときの最終パンチ荷重は670kNであった。なお、③から④の過程でパンチ荷重が急増する傾向が見られた。これは、後方押し出し加工による円筒部の成形が完了後、フィン部のみの成形で発生したと思われる。

実施した押し鍛造加工の実験結果から、目的とする1回のプレス振幅ですべての成形を完了できることがわかった。また、加工中のパンチ荷重は、異なる両方向に同時に押し出し加工を行う間は緩やかに増加し、片方の円筒部の押し出し完了後にもう片方のフィン部のみの押し出しを行うには、大きな荷重が必要となることがわかる。

## 3. Mg合金を用いた押し鍛造の成形評価

### 3. 1 モデル材料を用いた物理シミュレーション

難加工材と言われるMg合金を材料に用いた場合、押し鍛造加工で目的形状に成形可能であるか事前に評価するため、Mg合金の塑性変形を再現できるモデル材料を用いたモデル実験による物理シミュレーションを行った。

図4に今回使用したモデル材料とMg合金 (AZ31) の単軸圧縮試験で得られた変形特性（真応力—真ひずみ曲線）を示す。温間温度域におけるMg合金の変形特性は、真ひずみ

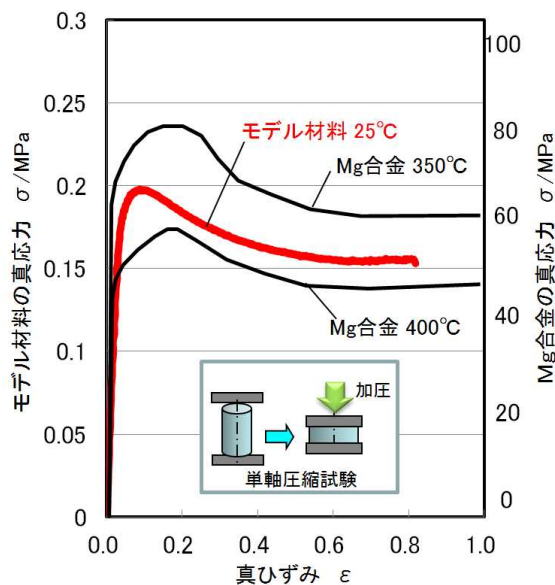


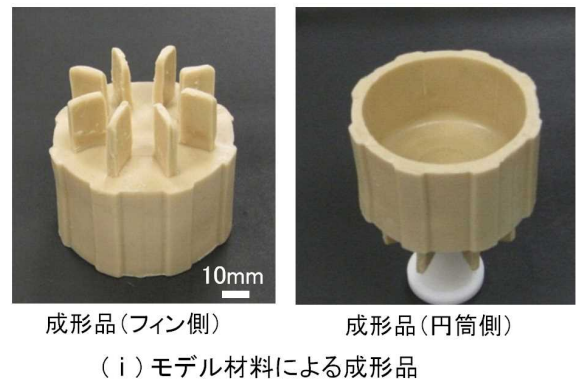
図4 モデル材料とMg合金 (AZ31)の変形特性



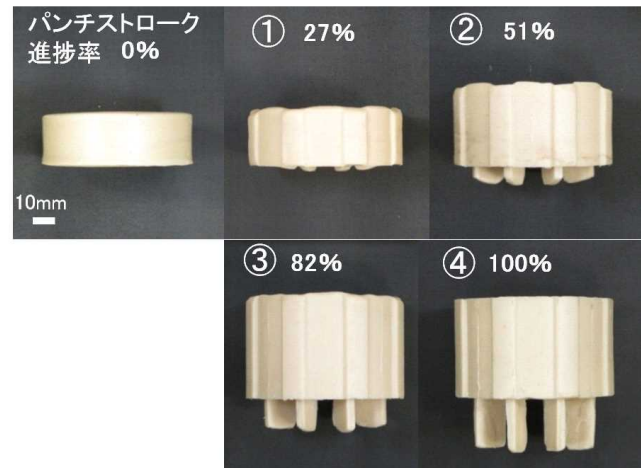
図5 モデル材料を用いた実験装置の概要

の増加に伴い真応力が低下する加工軟化の性質がある。図中に示すとおり、モデル材料はこのようなMg合金特有の加工軟化の変形特性を再現した材料であり、室温温度に加熱せずとも室温で使用することができる材料である。また、実金属の加工よりも1/数百の低応力で実験が行えることから、樹脂でできたモデル型を使用した加工実験を行うことで、実際の金型を使用せずにMg合金の成形を容易に検証することができる。

図5にモデル材料を用いた実験装置の概要を示す。また、塑性変形は相似則が成り立つため、操作性の観点から実際のサイズに対し2倍に拡大したモデル材料及びモデル型を使用した。モデル実験は、室温25°Cでプレス機のラム速度0.5mm/sの条件で行った。また、加工途中の成形品形状を



(i) モデル材料による成形品



(ii) 逐次加工過程の成形品形状

図6 モデル実験の実験結果

調べるため、逐次加工による4つの成形品取得（最終成形品を含む）を行った。

モデル実験の実験結果を図6に示す。図中(i)には、得られた成形品形状を示す。欠肉等の不良個所は無く、良好な形状に成形されていた。図中(ii)に逐次加工で得られた成形品形状を示す。A1合金と同様に、まず円筒部側壁の凸壁部が成形され、次に円筒部とフィン部の成形が同時に進み、円筒部の成形が完了した後にフィン部の成形が完了していた。しかし、③のパンチストローク進捗率82%では、A1合金のパンチストローク進捗率83%（図3(iii)の③）に比べ、フィンが短くなっていた。

これらのモデル実験の結果から、実際にMg合金を使用した場合でも、同様に成形可能と考えられる。また、A1合金の場合よりも円筒部に対するフィン部の成形は遅れると思われる。

### 3. 2 Mg合金を用いた押し鍛造実験及び考察

モデル材料を用いた物理シミュレーション結果をもとに、Mg合金を材料に使用した押し鍛造加工を行った。供試材料には直径35mm、高さ12.5mmの円柱形状のMg合金 (AZ31) を使用し、前述のA1合金と同様のプレス機及び金型を使用した。加工実験は、あらかじめ材料と金型を管状炉で



Mg合金(AZ31)による成形品



図7 Mg合金による成形品

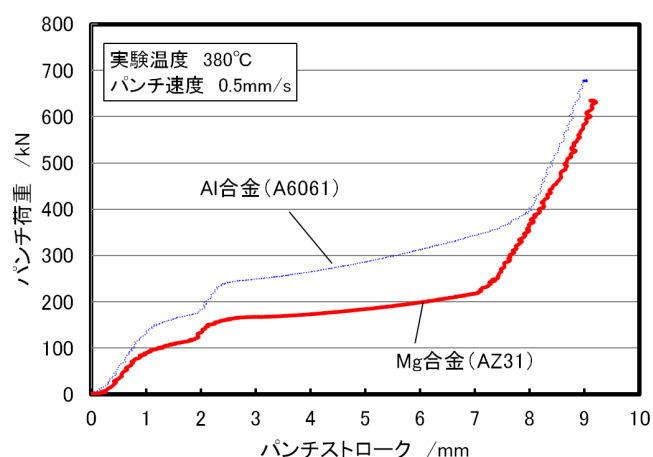


図8 パンチ荷重-パンチストロークの関係

加熱し、380℃の温度でプレス機のラム速度0.5mm/sの条件で実施した。潤滑剤には黒鉛系潤滑剤を使用した。

実験で得られたMg合金による成形品を図7に示す。モデル実験どおりの良好な成形品が得られていた。寸法についてもAl合金の場合と同様に良好な精度が得られていた。また、加工中のパンチ荷重-パンチストロークの関係を図8に示す。Mg合金は、パンチストローク7mm程度までパンチ荷重250kN以下で成形が進んでいた。しかし、加工終期に荷重が大幅に急増した。なお、Al合金の同関係と比較のため、図中の破線には、Al合金の同加工実験で得られたパンチ荷重-パンチストロークの関係を示す。Mg合金は、Al合金に比べ低荷重で成形が進むが、加工終期のパンチ荷重の急増がAl合金より約0.8mm早いパンチストローク7.1mmから始まっていた。Al合金の最終パンチ荷重680kNまで到達しないもののMg合金の荷重は630kNまで増加した。

このことは、Al合金の成形過程(図3(iii)の③)とMg合金の成形過程を再現したモデル材料の成形過程(図6(ii)の③)において、フィンの成形状態に差があることが影響していると考えられる。Mg合金は、図4に示すように温間温度域で加工軟化の変形特性があり、また後方押出しの方が荷重が低く、背圧をかけなくとも良好な成形品が得られやすいことが知られている<sup>4)</sup>。これらの要因から、Mg合金

はAl合金に比べ後方押出しによる円筒部の成形が早く進み、円筒部の成形が完了した時点で前方押出しによるフィンの未成形部が多く残りやすいと考える。このことが、加工終期の前方押出しによるフィン部のみの成形に多くのパンチストロークを要することにつながり、パンチ荷重をより急増させる原因になっていると考えられる。

#### 4. Al合金及びMg合金成形品による放熱評価

##### 4. 1 放熱実験方法

押出し鍛造加工実験によって得られたAl合金とMg合金の成形品を、加熱された円柱部品を冷却するためのヒートシンクとして用い、放熱実験により両者の放熱性の比較を行った。図9に放熱実験の概要を示す。円柱部品の内部に装填した20w出力のセラミックヒーターにより円柱部品を加熱し、円柱部品の側面部の熱電対で温度を測定した。室温25℃から定常状態まで加熱した時に、円柱部品温度は254℃であった。

加熱された円柱部品上に、Al合金もしくはMg合金の成形品を接触させて放熱実験を開始し円柱部品を冷却させた。放熱中は、円柱部品の温度変化の測定と、赤外線カメラによる成形品表面の温度分布を測定した。なお、赤外線カメラでの測定は、放射率の違いによる測定誤差を無くするため、両合金の成形品にはあらかじめ黒体塗装を施した。

##### 4. 2 放熱実験結果及び考察

放熱実験で測定した円柱部品の温度と放熱時間との関係を図10に示す。円柱部品は、成形品が接触後に急激に冷却が進み、放熱開始から2分以内にAl合金成形品を用いた円柱部品温度は136℃、Mg合金成形品を用いた同温度は147℃

加熱された円柱部品に成形品を接触させて放熱

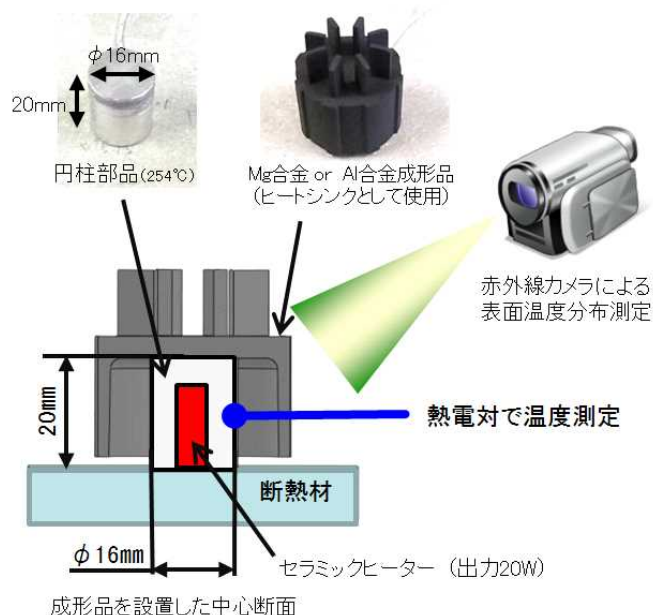


図9 放熱実験の概要

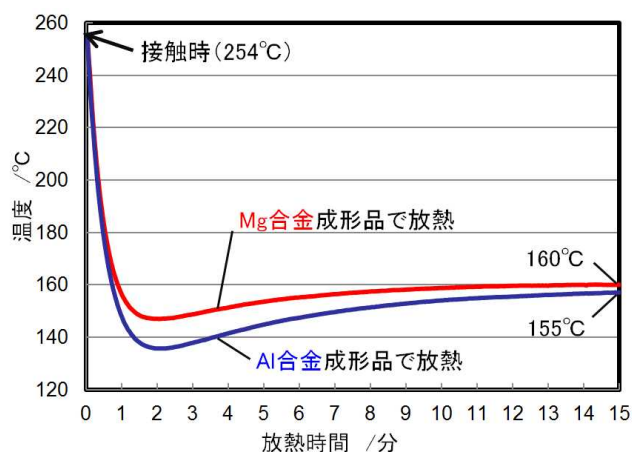


図10 円柱部品の温度と放熱時間との関係

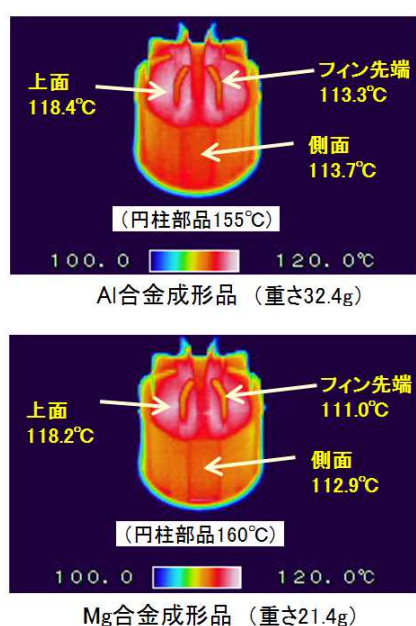


図11 成形品表面の温度分布（15分後）

まで温度が低下した。その後、徐々に温度が上昇し、15分後以降には、両成形品を用いた場合とも温度は一定の定常状態となった。このとき、Al合金成形品を用いた円柱部品温度は155℃、Mg合金成形品を用いた同温度は160℃であり、両者の温度差は5℃であった。

図11に放熱実験開始から15分後に赤外線カメラで成形品表面の温度分布を測定した結果を示す。両合金の温度を比較すると、フィン先端、上面及び側面ともにAl合金成形品がMg合金成形品よりも温度が高くなっていた。最も温度差が生じていたのは、フィン先端部であり、その差は2.3℃であった。これらの結果は、Al合金成形品の方がMg合金成

形品よりも円柱部品の熱をより多く吸収したことを表している。また、AlとMgの熱伝導率の差が影響していると思われる（参考：20℃大気中での熱伝導率 Al 204W/mK, Mg 147 W/mK）。

一般的にAl合金はヒートシンク材料として使用されることが多い。しかし、今回の実験ではAl合金成形品に対し若干劣るもののMg合金でも放熱効果が得られることが確認できた。Mg合金成形品の重さは21.4gであり、Al合金成形品の32.4gを大幅に下回る。自動車や携帯機器等の分野では軽量性は商品の重要な機能性であることから、軽さを重視してある程度の放熱性を求める場合は、Mg合金が材料選択の1つとして有効と思われる。一方、放熱性を重視してある程度の軽量性を求める場合は、Al合金の選択が有効と思われる。

## 5. 結 言

本研究では、軽金属であるAl合金（A6061）とMg合金（AZ31）を使用した押し鍛造実験及び放熱実験を実施し、結果を比較検証することで以下のことが明らかになった。

- (1) 押し鍛造加工では、1回のプレス振幅でフィン部と円筒部の成形が可能であり、Al合金及びMg合金ともに良好な成形品が得られる。
- (2) 両合金の加工過程の相違を明らかにした。Mg合金は加工途中まではAl合金に比べ低い荷重で成形が進むが、加工終期にフィン部のみの成形にパンチストロークを要し、パンチ荷重が大幅に上昇する。
- (3) 上記加工で得られた両合金の成形品を用いた放熱実験により、Al合金成形品とMg合金成形品との放熱性の違いを明らかにした。部品に要求する機能性（軽量性及び放熱性）を重視した両材料の適切な選択は、軽量化が要求される昨今において有効である。

## 参 考 文 献

- 1) 桑原田聡，牟禮雄二，松田豪彦，中西賢二：鹿児島県工業技術センター研究報告，**23**，39-44（2009）
- 2) 桑原田聡，中西賢二，牟禮雄二，松元泰道：塑性と加工，**56**，593，528-586（2010）
- 3) 桑原田聡，牟禮雄二，松田豪彦，中西賢二：鹿児島県工業技術センター研究報告，**25**，51-57（2012）
- 4) 牟禮雄二，中西賢二，松田豪彦，桑原田聡，中村俊一：塑性と加工，**56**，589，136-140（2010）