平成２１年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「難加工材の 3 次元精密順送プレス技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成２２年３月

委託者　関東経済産業局

委託先　山野井精機株式会社

目　次

第１章　研究開発の概要
１－１　研究開発の背景・研究目的及び目標　１
１－２　研究体制　３
１－３　成果概要　７
１－４　当該プロジェクト連絡窓口　７

第２章　本論
２－１　ボス成形　８
２－２　カラー粘土によるボス成形過程の実験的シミュレーション　１２
２－３　ボス成形を有するプレス製品試作　１５
２－４　ボス成形工程を組み込んだ金型の設計　１５
２－５　量産生産システム　１６

第３章　全体総括
研究開発成果　１７
今後の課題　１７
今後の事業化展開　１７

第１章　研究開発の概要

【１－１】　研究開発の背景・研究目的及び目標

１）研究開発の背景

・軽量化への対応

携帯電話やモバイルパソコンなど携帯型情報端末では、機器の小型化は成熟しているが、軽量化については軽金属材の適用などさらなる軽量化が必要不可欠となっている。情報家電においても同様で、軽量化とともに扱い易さや静穏化対策が求められている。自動車産業では、環境対応が喫緊の課題であり、特に自動車のＣＯ2 削減に向かう軽量化など環境対応力が企業の競争力を左右するものとなっている。自動車重量 1kg 削減による CO_2 削減効果は 5kg（10･15 モードにて 10 万 km 走行した場合）であり、車体重量の軽量化は環境負荷対応策の１つとして期待されている。

・複雑形状化への対応

中国などとの低コスト化競争に勝ち抜くため、各製品の部品点数削減が強く求められている。その結果、各部品形状は益々複雑化している。特に自動車部品ではその傾向が強く、プレス製品では従来の２次元形状から３次元複雑形状を実現するニーズが増加している。携帯電話やモバイルパソコン等では急速な高機能化及び小型化が進んでおり、その複雑形状製品（高付加価値製品）を量産する生産技術が市場から求められている。

・板鍛造技術の進展

軽量化および複雑形状化を解決すべく板鍛造技術開発が進展している。これを実現するには金型技術の高度化及び複雑化が課題であり、主に家電メーカーでの取り組みが盛んとなっている。しかし、携帯電話など情報端末はモデルチェンジが非常に早く、製品サイクルも短いため、新製品開発期間をどう短縮するかが最大の課題となっている。

これらの解決策として、開発に時間と手間がかかり、尚かつ高度技術が必要とされる軽量難加工材（アルミニウム合金、マグネシウム合金等）の製品加工、特に板材に直接ボス立てを行うような３次元プレス加工技術の確立が強く求められている。

２）研究の目的

難加工材等の軽金属材料への金属プレス加工技術は確立していない。特に比強度、比剛性の高いマグネシウム合金のプレス加工は室温では非常に困難であるため、その製品の大半がチクソモールドやダイキャストで生産されている。そこで、これら軽量難加工材を用いた量産化、短納期化を実現する３次元精密順送プレス技術の確立を目指す。

３）研究の概要

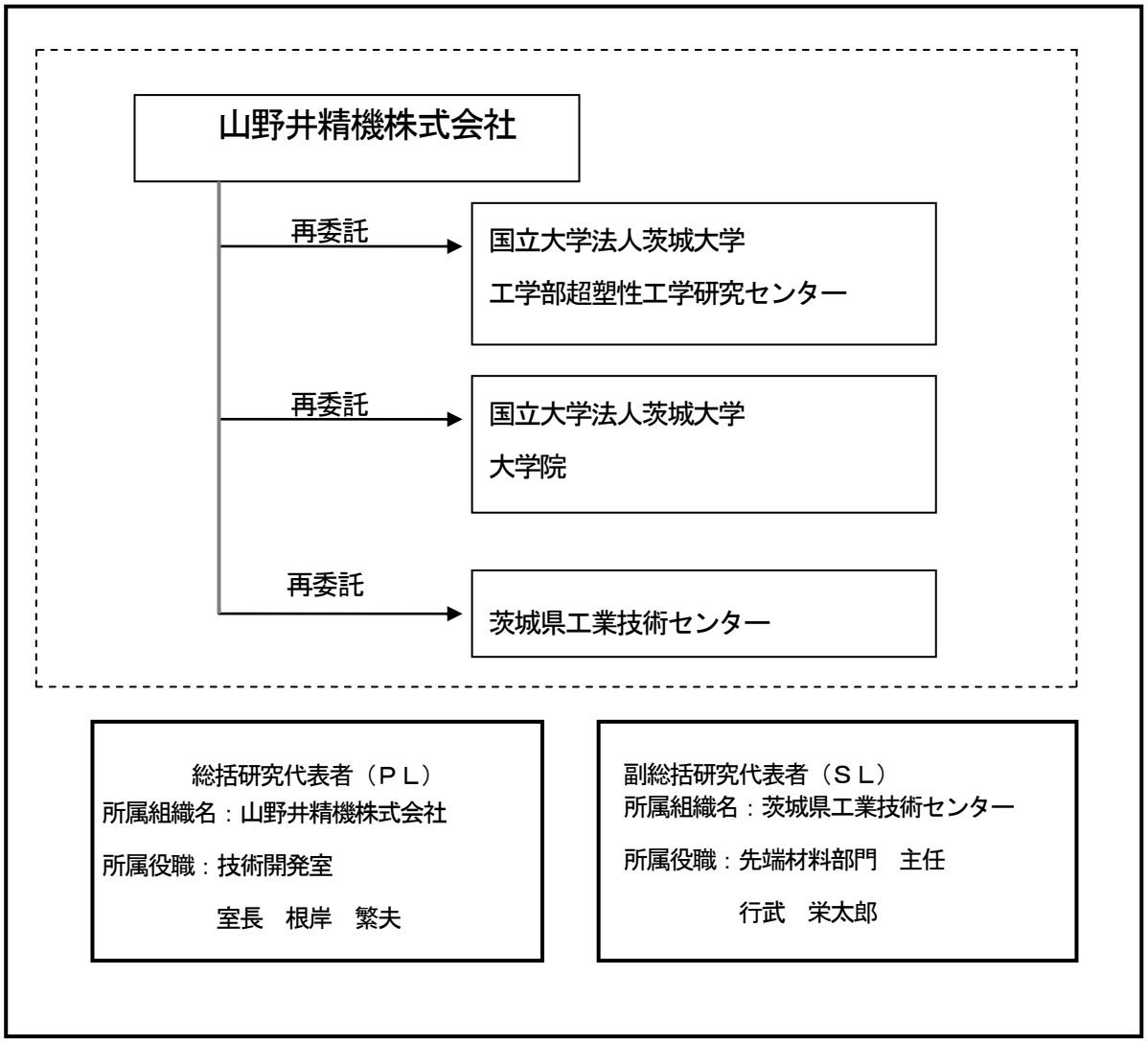
軽量難加工材であるアルミニウム合金、マグネシウム合金を対象とした３次元精密順送プレス技術を確立する。具体的には、金型内において薄板のボス立て加工を摩擦攪拌プロセスによる結晶組織制御（動的再結晶）にて行なう技術である。本事業で得られた他国の単純加工技術では容易に真似のできない板鍛造生産技術を携帯情報端末等に組込み、企業が国際競争し続けるために不可欠な高度プレス加工技術を確立する。

【１－２】　研究体制

（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

(1)　研究組織及び管理体制

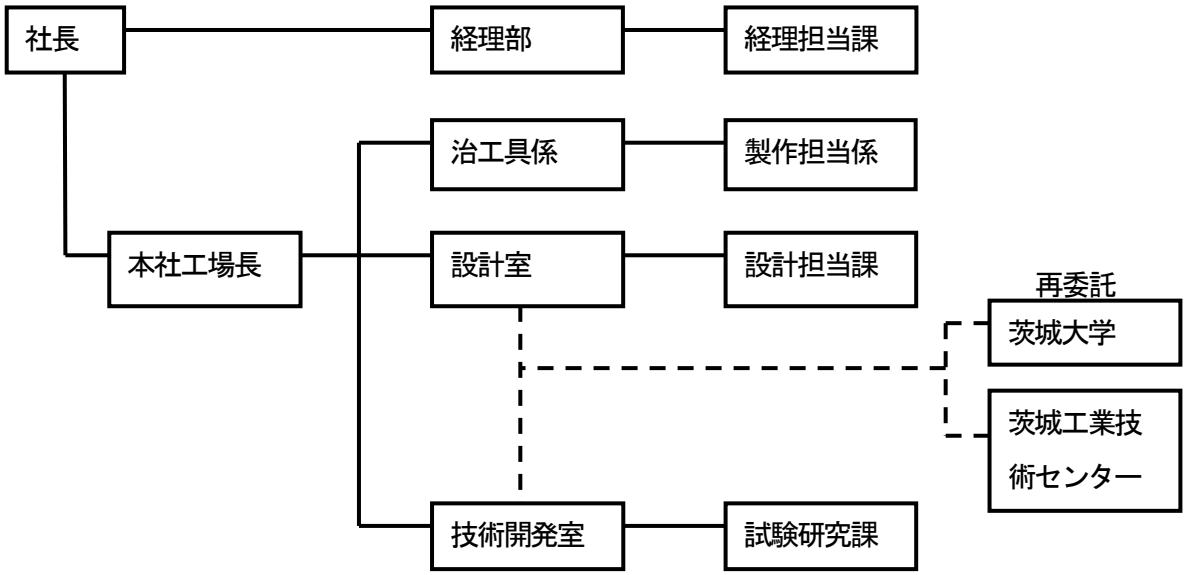
１）研究組織（全体）



２）管理体制

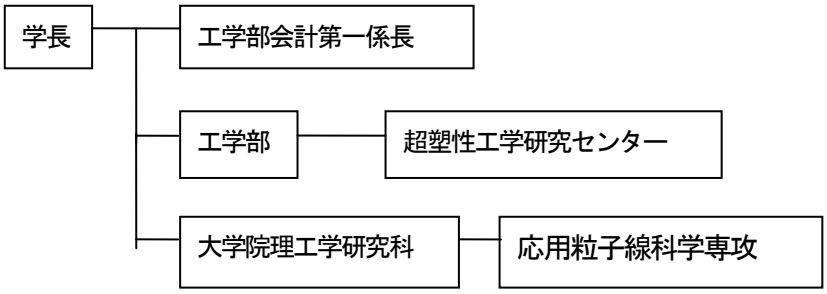
①事業管理者

［山野井精機株式会社］

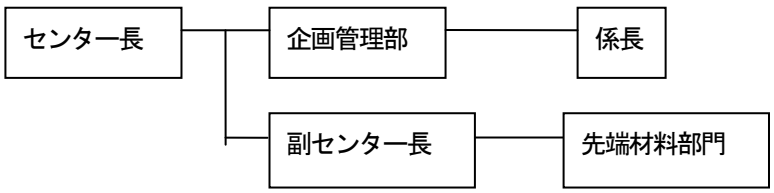


②（再委託先）

国立学校法人　茨城大学



茨城県工業技術センター



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 山野井精機株式会社

①管理員

氏　名	所属・役職
北泉　正男	本社工場長
根岸　繁夫	技術開発室　室長

②研究員

氏　名	所属・役職
根岸　繁夫(再)	技術開発室　室長
幸田　稔	技術開発室　主任研究員
秋谷　俊之	技術開発室 研究員

【再委託先】

国立大学法人　茨城大学

氏　名	所属・役職
本橋嘉信	茨城大学工学部超塑性工学研究センター長
西野創一郎	茨城大学大学院

茨城県工業技術センター

氏　名	所属・役職
岡部弘文	先端材料部門　部門長
小松崎和久	先端材料部門　主任
行武栄太郎	先端材料部門　主任
早乙女秀丸	先端材料部門　技師
上田聖	先端材料部門　技師

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

（事業管理者）

山野井精機株式会社

（経理担当者）　経理部　経理部長　坂本良雄

（業務管理者）　本社工場長　北泉正男

（再委託先）

国立大学法人茨城大学　工学部及び大学院理工学研究科

（経理担当者）　工学部会計第一係長　鮎沢博道

（業務管理者）　工学部長・大学院理工学研究科長　神永文人

茨城県工業技術センター

（経理担当者）　企画管理部門　係長　高橋貴子

（業務管理者）　副センター長　鴨志田敏行

（４）他からの指導・協力者

氏名	所属・役職
永野洋介	株式会社日立製作所　技術主幹
正木一男	日本金属株式会社　マグネ営業開発部
権田善夫	権田金属工業株式会社　専務取締役
佐藤博徳	有限会社佐藤電化工業所　代表取締役
鈴木徳一	新日東電化協業組合　代表理事
小原久	日本マグネシウム協会　専務理事
樋口修	財団法人茨城県中小企業振興公社　マグネシウムプロデューサー
加藤数良	日本大学生産工学部機械工学科教授
菅又信	日本大学生産工学部機械工学科教授

【１－３】　成果概要

- 摩擦撹拌・熱を用いて素材を塑性流動させ板材からボス成形に成功
- ボス径φ３，高さ３ｍｍ以上の成形が可能
- 中実，中空ボスが一工程で可能
- 無潤滑でボス成形可能
- 金型加熱無にボス成形可能
- 高速成形が可能（ボス径φ5mm，高さ 5mm 以上→1 秒以内）
- ボス表面部は摩擦攪拌され微細組織を有する組織が形成される
- 適応素材は，マグネシウム合金全般，アルミニウム合金全般に適応可能
- ボス部強度は母材と同等及びそれ以上
- サーボプレスによる可変速成形加工によりマグネシウム合金の温間深絞りが可能

【１－４】　当該プロジェクト連絡窓口

〒３００－１２８３
茨城県牛久市奥原町１６５０－１０
山野井精機株式会社牛久工場　技術開発室　根岸　繁夫
ＴＥＬ　０２９－８７５－２４００　ＦＡＸ　０２９－８７５－２１２３
E-mail:negishi-sg@yamanoiseiki.co.jp

第２章　本論

【２－１】　ボス成形

ボス成形には回転ツールと素材との摩擦撹拌及び熱を用いて行った。回転ツール中心にはφ3～φ5 の穴が中心に開いており，その中に素材を流し込むことでボス成形を行った。回転速度は最大 10000 回転とした。ボス成形対象素材はマグネシウム合金（AZ31, AZ61, ZK60, AM60 等），アルミニウム合金（1000 系, 2000 系, 5000 系, 7000 系）とした。ボス高さは 3㎜ 以上となるように設定した。

ボス成形技術を各合金に適応させた例を図１に示す。マグネシウム合金（AZ31）をはじめ，各種アルミニウム合金においてもφ3㎜ 以上，高さ 3㎜ 以上の中実ボスを成形できた。成形時間はどれも 1 秒以下である。図 1 に示すマグネシウム合金については，中空ボス及び大型ボス成形についても示す。各種サイズのボス成形が短時間で可能である。

ボス成形メカニズムは素材の塑性流動により行われており，結晶粒径が小さいほど塑性流動し易いことが考えられる。回転ツールとの接触面である素材表面が撹拌され変形抵抗が低下しボスを成形する。特に，マグネシウム合金の場合，動的な再結晶が積極的に発現することで著しい変形抵抗の低下が考えられる。マグネシウム合金は２５０℃以上で粒界すべりを伴う超塑性現象を示すことがある。ボス立時にこの超塑性的現象が発現しボス成形に寄与しているとも考えられる。また，回転ツールにより多量のひずみが被加工材に加えられ，摩擦熱により熱処理されることにより素材組織が微細化されることが確認された。これにより超塑性現象が発現しやすくなることが期待できる。

図 2 に摩擦撹拌部の顕微鏡写真を示す。撹拌部表面は大きな塑性ひずみが負荷されると同時に，摩擦熱で動的な再結晶を起こしているため，微細結晶粒が存在していることが確認できる。また，その結晶粒径は５μm 以下であり，素材平均粒径 15μm と比較すると非常に微細化されていることが確認できる。

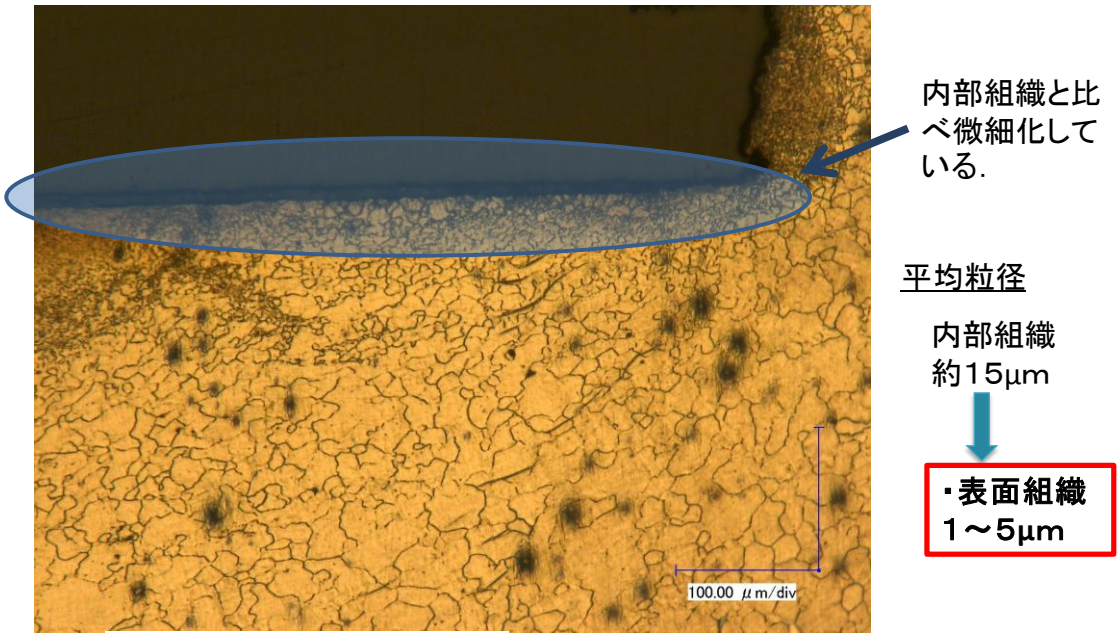
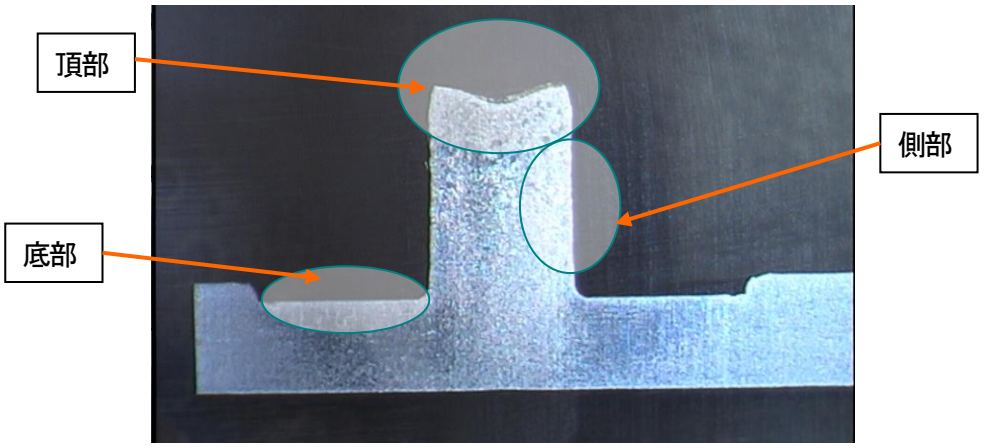


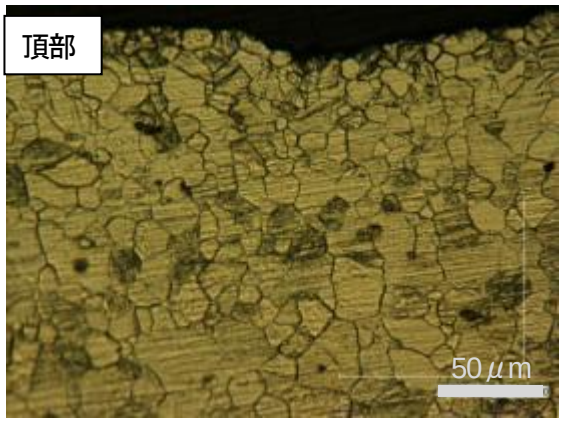
図２　摩擦撹拌表面部　　x500

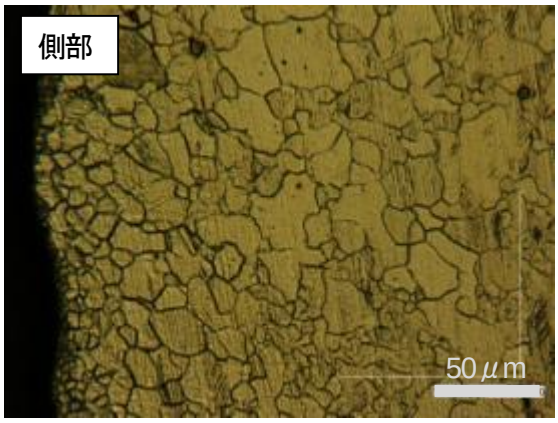
（マグネシウム合金：AZ31）

図１　各種板材へのボス成形

図３に中実ボス成形（マグネシウム合金）時の内部組織写真を示す。ボス頂部の組織は素材平均結晶粒径と比べ粗大化しており 30μm 以上の結晶粒も観察される。これは，ボス成形時の回転ツールと素材との摩擦熱により動的な再結晶を起こした結晶粒が成長したと考えられる。側部は回転ツールと素材の接触面での結晶粒径は微細化しているが，ボス中心部へ向かうにつれ結晶粒が粗大化しており 50μm 以上の結晶粒も観察された。これは，大変形による蓄積されたひずみが摩擦熱により解放され異常に粒成長したと考えられる。結晶粒粗大化にはボス成形時の温度が深く寄与していると考えられ，押込み量が増加するにつれ発熱温度が高くなることに一致している。マグネシウム合金の再結晶温度は約２００℃～４００℃の温度範囲であるが，結晶粒粗大化時の摩擦発熱温度は約２５０℃であり，その温度範囲内であり再結晶による結晶粒粗大化が考えられる。
底部では図２と同様に摩擦撹拌により微細化された結晶粒が観察される。







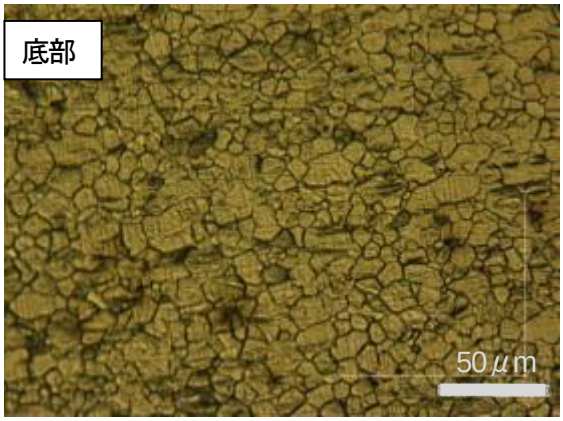


図３中実ボス断面写真
（マグネシウム合金：AZ31）

図４に中空ボス内部の組織観察写真を示す．薄板材へ中実ボス成形した場合，ボス部裏側に引けが発生する場合があるが，中空ボス成形では板厚 1mm 以下においても引けが発生しない。さらには，内部組織は中実ボスより緻密になっている．結晶粒径は，素材とほぼ同等で，20μm であり等軸の結晶粒を有する．成形時の温度は 250℃以上であると予測すると，完全に再結晶した組織だと思われる．回転ツールとの接触部近傍は，中実ボスと同様に回転ツールにより攪拌され微細化されている．中空ボスの場合ボス部全体が撹拌されることで結晶組織の微細化が均一化される。よって，中実ボスと比べ強度が向上することが推察される。

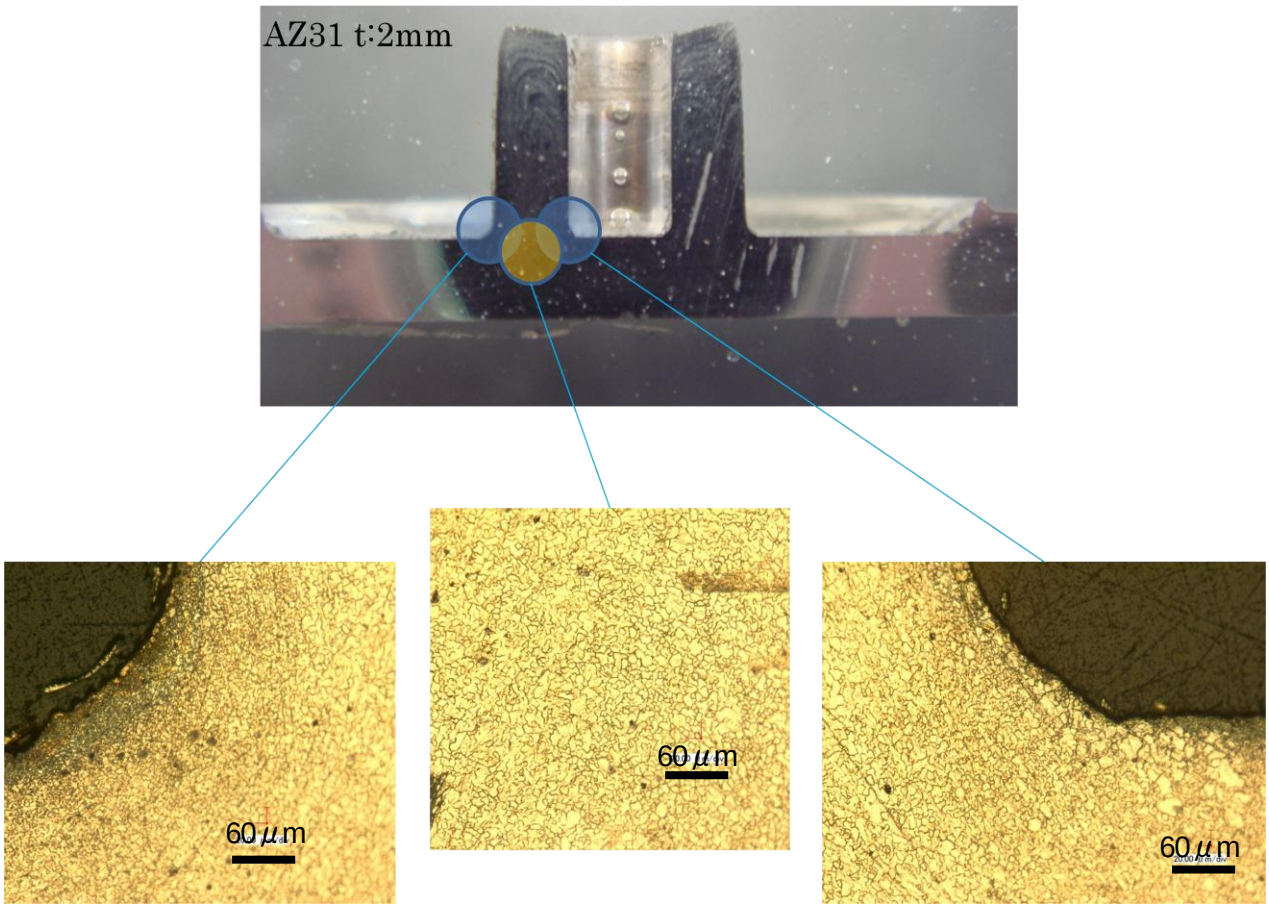
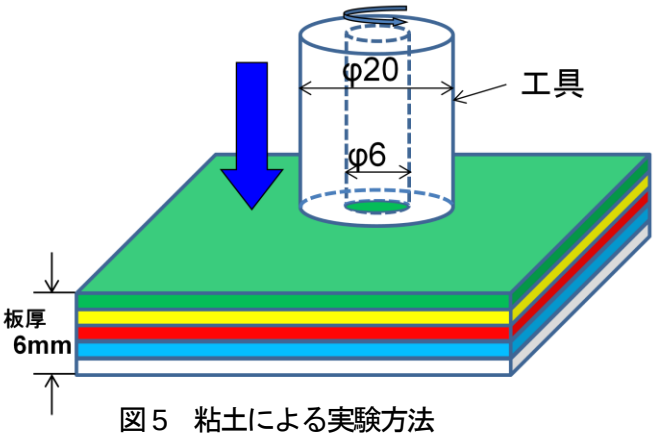


図４中空ボス断面写真

（マグネシウム合金：AZ31）

【２－２】　カラー粘土によるボス形成過程の実験的シミュレーション

図５にカラー粘土を用いたボス形成実験の方法および条件を示す。材料の流れを詳細に観察できるように、カラー粘土を横に積層した場合、および縦に積層した場合について行った。また、工具の回転の効果を調べるため、工具を回転させずに押込む試験も行った。



試験条件

- ツール回転数：340rpm
- 送り速度：24mm/min
- 温度：室温(21℃)
- 押込み量：3mm

押込み量3mmを100%とし、押込み量を30%～100%と変化させ、突起を作製

図５　粘土による実験方法

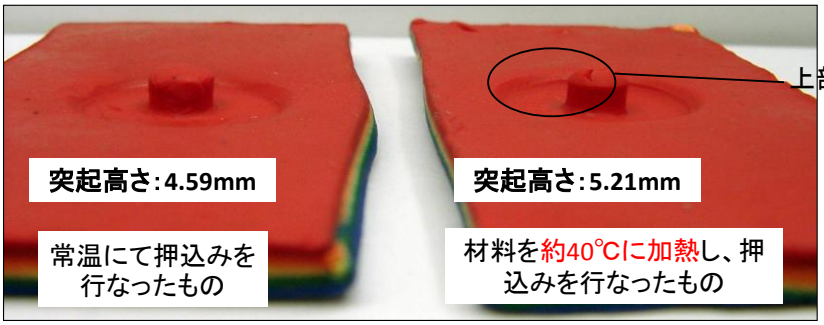
より詳しい調査を行う為、作製する粘土板を

5色5層⇒5色10層

に変更し、その板を用いて突起を作製することにした。

板厚：約5mm
押込み量：3mm

突起の様子



突起断面の様子

温度を上昇させると材料内部の流動性は向上するが、高さに大きな差は見られない。
また、ツールを回転させたものと比較すると、突起高さは5割ほどしかなかった。

図６　無回転によるボス成形

図６は工具を回転せずに押込んだ結果である。押込みにより材料が工具のキャビティ中に流動した様子が分かる。温度を 40℃（カラー粘土の融点は約 60℃）に加熱した場合の状況も示した。ボスの先端部が半球的になっていることが分かる。これは工具と材料の接触面で摩擦力が作用し、ボス外側部の流動が抑制されたためと推定される。

図７に工具を回転させながら、押込んでボス形成した場合の例を示す。ボス高さは工具の回転なしに押込んだ場合と比較してかなり大きくなっている。また、ボス先端部の形状は平板的になっている。これは、工具と材料の接触部の摩擦が工具の回転により動摩擦状態になり摩擦係数 μ が小さくなったこと、および摩擦熱の発生により温度が上昇し材料の流動性が増したためと考えられる。

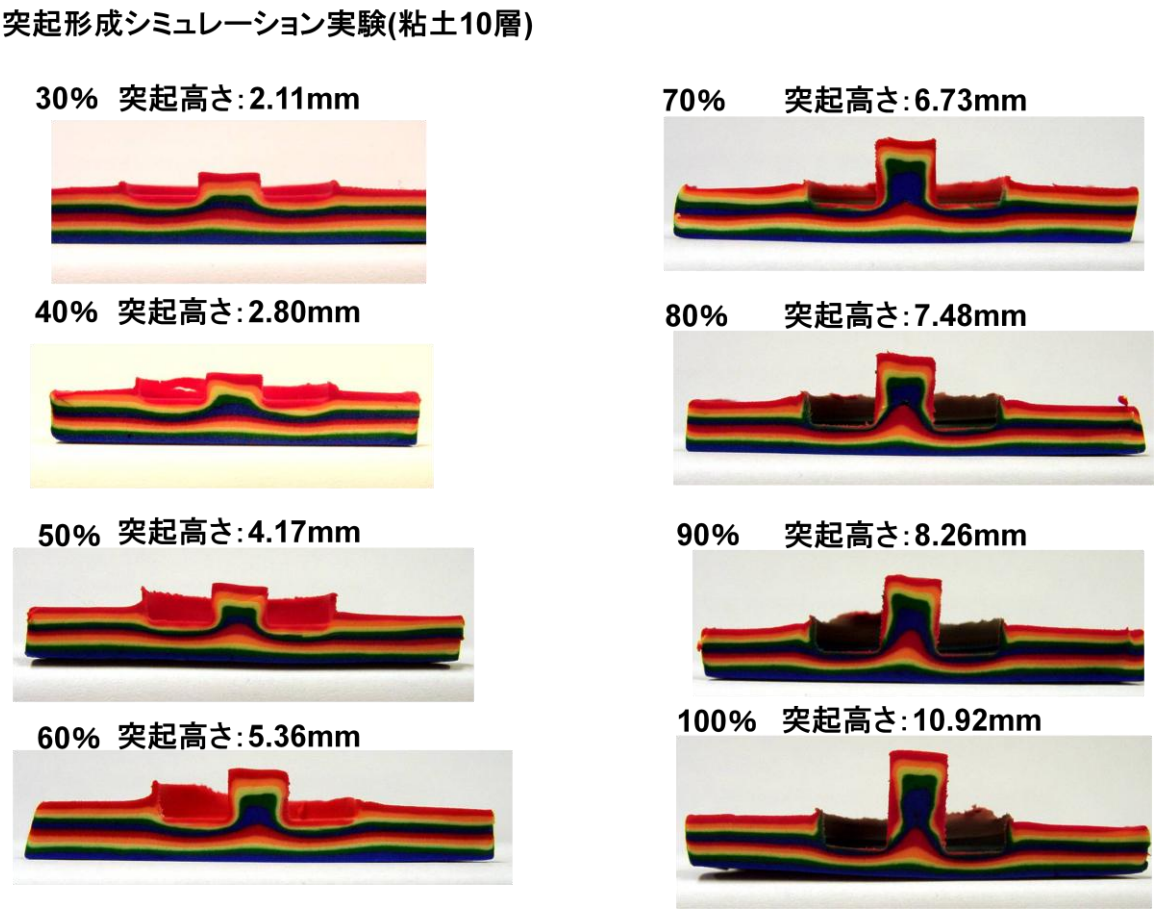


図７　回転ツールによるボス成形

図８に粘土を縦に積層してボス立て試験を行なった場合の結果を示す。工具のキャビティに向かって材料が流動している様子がよく分かる。また、①と②の断面観察の結果から、ボス部とその母材下部領域が回転していることが分かる。とくにボス部の下部ではカラーの不連続部が見られ、大きく回転していることが推定される。そこで、ボス部および母材下部を横（母材の板に平行な面）に切断して観察した結果を図９に示す。ボス下部ではカラーの積層の順序が母材と逆になっており、約 180 度回転したことが分かる。一方、ボス下部からボス上部にかけては、回転量は約 90 度と除々に回転していたことが分かった。また、攪拌部の直下の母材領域も約 90 度回転していることが分かった。

以上の、カラー粘土を用いたボス立てのシミュレーション実験結果と Al 合金および Mg 合金のボス立ての結果を比較すると、工具の回転無しにカラー粘土に押込んだ場合は、ボス高さが低く、かつボス先端部は半球状になること、工具を回転させた場合はボス高さが大きくなり、ボスの先端部の形状が平板的になること、一方、Mg 合金や Al 合金ではボス高さが大きく、かつボス先端部の形状はすり鉢状になること、そして、これらは被加工材の材料流れの特徴をよく現していることが推定された。

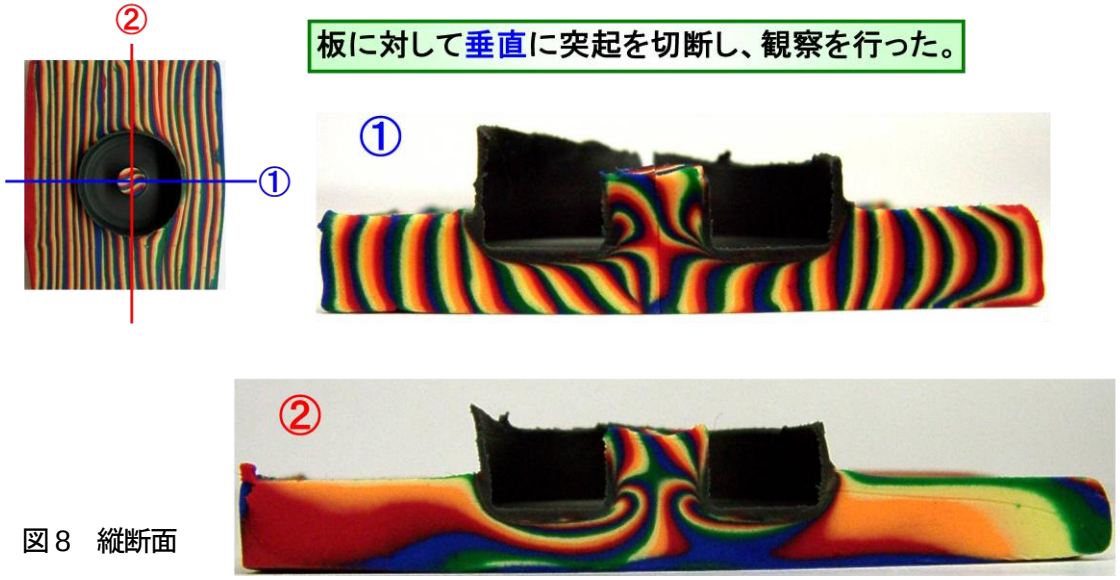
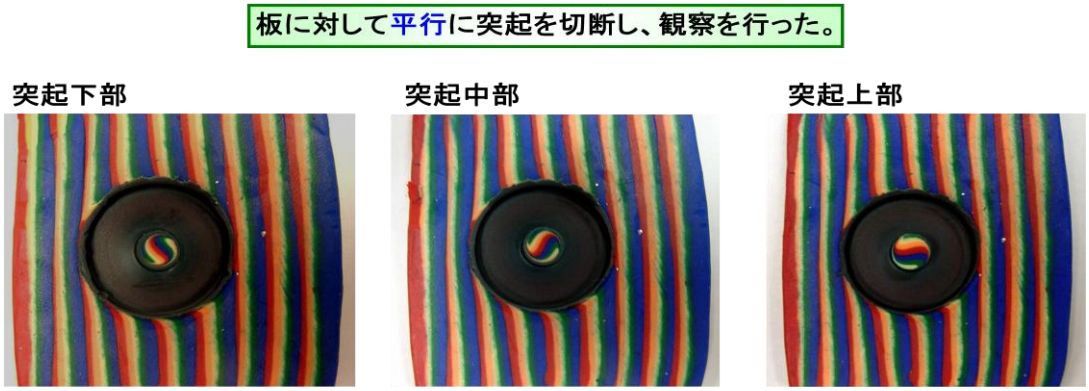


図８　縦断面

材料が回転しながら流動しているため、複雑な流動をしていると考えられる。

今後押込み量を変化させさらに詳しい調査を行う必要あり



突起上部へ行くに従って層が約90度ほど回転しているのが分かる。

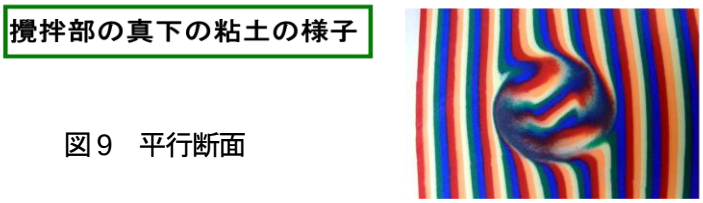


図９　平行断面

【２－３】　ボス成形を有するプレス製品試作

ボス成形技術を用いた試作品を図 10 に示す。70mm×100mm　高さ 20mm の絞り製品を試作した。素材はマグネシウム合金（AZ31）を用い四隅には取り付け用の腕を伸ばした形状とした。サーボプレス機を用いて温間プレスにて加工した。ボス成形はプレス工程前後で可能であるが，今回はプレス工程前に行った。この試作品の部品点数は板厚 2mm の板材だけであり，部品点数，工程数の大幅な削減を実現した。

図 10　試作品（マグネシウム合金：AZ31）

【２－４】　ボス成形工程を組み込んだ金型の設計

順送プレスでの金型案を図 11 に示す。量産性を考慮すると，順送金型による製造が最も有効である。そこで，順送金型へボス成形機能を組み込むことを検討した。サーボプレスを用いることで１ストローク内の速度変化が可能となるため，ボス成形及び絞り成形の成形速度を個々に制御できるため，順送金型への展開が期待できるが，回転機構の金型への取り込みが課題である。回転動力源が問題であり，モーターによる回転，もしくは，縦ストロークを回転運動に変換する機械的機構等を検討したが，ボス成形に必要な回転トルクを得ることが今後の課題である。

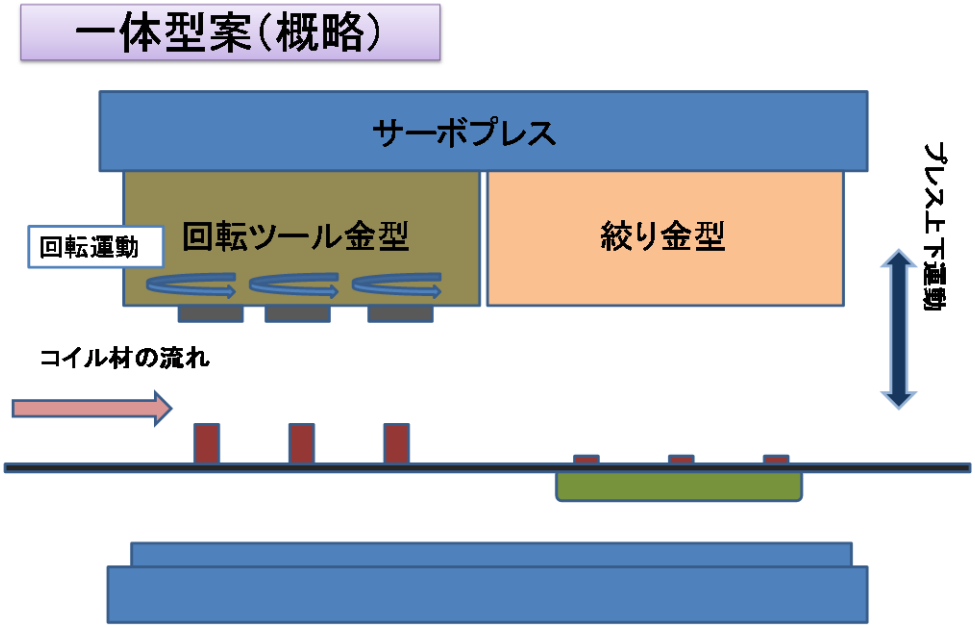


図 11　一体金型案

【２－５】　量産生産システム

同一金型内へのボス成形機構の取り込みが困難なため，ボス成形工程とプレス工程を別々に行いロボットトランスファーで製品を移動させ連続生産を行う行程を図 12 に示す。ボス成形には CNC を用い，ドリルのように回転ツールを簡単に取り換えられることにより様々な形状のボス成形が短時間で可能となる。また，サーボプレスにより可変絞り成形が可能となれば複雑な形状の絞りプレスも少ない工程数で可能となる。これらをロボットトランスファーで接続することで量産性を向上できる。

図 12　製造ライン（分割案）

第３章　全体総括

研究開発成果

- 摩擦撹拌・熱を用いて素材を塑性流動させ板材からボス成形に成功
- ボス径φ３，高さ３ｍｍ以上の成形が可能
- 中実，中空ボスが一工程で可能
- 無潤滑でボス成形可能
- 金型加熱無にボス成形可能
- 高速成形が可能（ボス径φ5mm，高さ 5mm 以上→1 秒以内）
- ボス表面部は摩擦攪拌され微細組織を有する組織が形成される
- 適応素材は，マグネシウム合金全般，アルミニウム合金全般に適応可能
- ボス部強度は母材と同等及びそれ以上
- サーボプレスによる可変速成形加工によりマグネシウム合金の温間深絞りが可能

今後の課題

- ボス成形加工とプレス加工との融合による量産性の更なる向上
- ボス成形加工に用いるツールの長寿命化
- ボス形状（寸法）の高精度化
- マグネシウム合金，アルミニウム合金以外の金属への対応（鉄，チタン等）

今後の事業化展開

川下産業である自動車産業，携帯端末機器，パソコン等の家電製品への適用が可能．さらには，建築業界からの問い合わせがあり，多業種にまだがり幅広く市場が潜在的に存在するので，商談会，展示会などに積極的に参加し開発製品の PR を行い用途開発を進める。更なる技術進化を目指し，今後も引き続き新技術の開発を行う上で茨城大学と茨城県工業技術センターと協力し開発した新技術を利益の上がる産業にしていくことに力を注いでいきながら更に新しい技術開発に挑戦し続ける。