

補助事業番号 2021M-160

補助事業名 2021年度 水中衝撃波を利用した次世代マグネシウム合金材の高速変形の  
技術開発補助事業

補助事業者名 熊本高等専門学校 生産システム工学系 APグループ 井山 裕文

## 1 研究の概要

水中の電極間に配置された金属細線に高電圧を負荷し、瞬時にその金属細線が溶融気化した際に発生する水中衝撃波を金属板に作用させ、所定の形状に成形する放電成形を行う。この技術を活用し、マグネシウム合金板の成形を常温で行うものである。本研究では、まず板材として利用されているAZ材の成形について評価を行った。本研究で用いる装置にはマグネシウム合金板に作用する衝撃波の圧力分布を変化させるために圧力容器を用いる。その圧力容器内部での衝撃波の伝播過程およびその作用する衝撃圧力分布の評価のため数値シミュレーションを行った。

## 2 研究の目的と背景

近年、低炭素社会の実現に向け、産業界では過渡的に変化しつつある。航空機や自動車産業においては機体や車体の軽量化が求められており、特に比強度が高いマグネシウム合金の利用は増加傾向にある。しかし、これらの材料は通常のプレス成形では困難であり、高温下での状態でしか加工が行われず、低炭素化社会に向けてはそのエネルギーコストも減少させなければならない。一方で、放電成形法によるマグネシウム合金材への応用は開発途上にあり、これまで高速引張試験による材料特性評価や数値解析を用いたその成形性の評価や衝撃波の発生源に爆薬を用いた爆発成形法による凸型成形についての研究開発が行われている。本研究ではこれらのような高エネルギー速度加工法を利用した次世代材料であるマグネシウム合金の常温高速成形技術の確立を目指している。

## 3 研究内容

### (1) 水中衝撃波の伝播過程とマグネシウム合金材の変形シミュレーション

(<http://y-page.y.kumamoto-nct.ac.jp/u/eyama/>)

図1に解析モデルの圧力容器部とモデル全体の概要図を示す。圧力容器は同図(a)の双曲型と(b)放物型を想定した。また同図(c)概要図のように圧力容器と金型の間に対象とする金属板(AZ31)が挟まれている。実際には衝撃波はアルミニウム細線の水中放電により発生させるが、細線放電から水中衝撃波発生までの物理現象を数理的に表現できる解析モデルは無いので圧力の同定をアルミニウム合金板の成形実験と比較して求めた。その際、衝撃波発生源はSEPと呼ばれる爆薬を仮定した。概要図ではこの爆薬量を約0.11gとして圧力頂上部にセットしたものとなっている。また、圧力容器内部には水を充填させている。対称性を利用して中心軸より半分を解析対象とした。

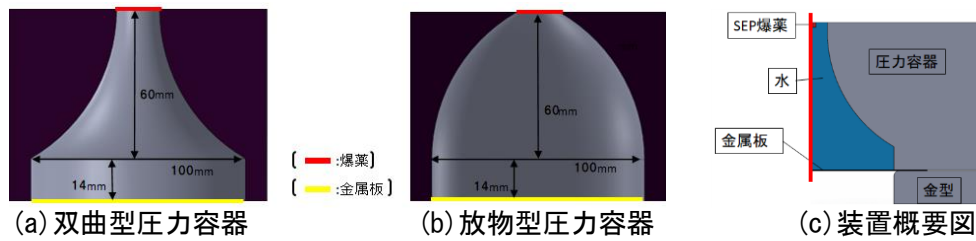


図1 解析モデル

図2は圧力容器内部の圧力コンター図を示している。同図(a)に双曲型圧力容器、同図(b)に放物型圧力容器の場合の圧力分布履歴を示している。双曲型の場合、容器中央部の圧力上昇が次第に外周方向に広がるような履歴をたどり、放物型の場合、壁面からの反射圧が大きく、それが次第に中央部へと影響を及ぼすような圧力履歴を示している。金属板中央部での水要素の圧力履歴より最大値を求めたところ、放物型の圧力容器を利用すると、約57.7[MPa]、双曲型では約136[MPa]であった。図3は双曲型圧力容器を用いて、爆薬量を約0.11gとした時の板厚1.0mmのAZ31材の変形シミュレーションを示したものである。また、鉛直下向き方向の速度コンター図も併せて示している。およそ350 $\mu$ s時において、板全体が約20~25m/sの速度を維持しており、それが次第に減速し、およそ650 $\mu$ sくらいで成形が終了している。板全体がほぼ丸みを持った形状となっている。

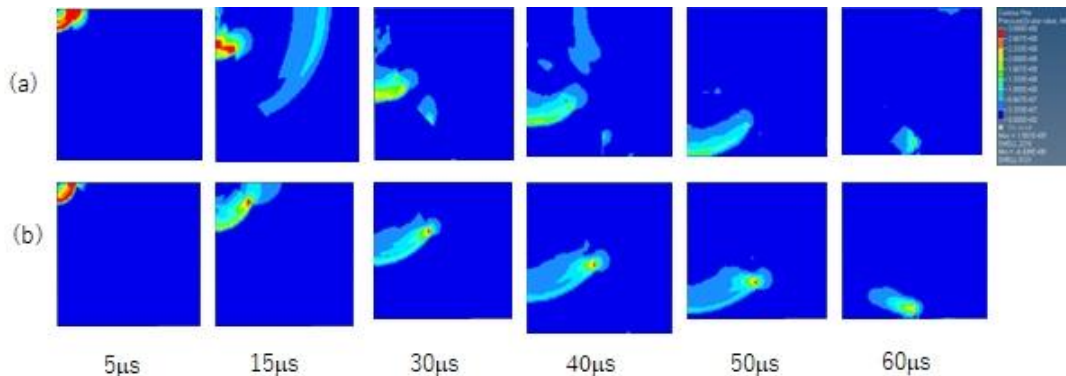


図2 圧力容器部の圧力コンター図

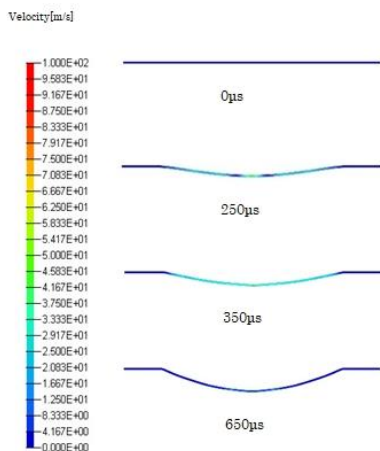


図3 AZ31材の成形シミュレーション結果

## (2) マグネシウム合金の成形実験

(<http://y-page.y.kumamoto-nct.ac.jp/u/eyama/>)

実験装置の概略図を図5に示す。板押さえと金型の間には、本来、AZ31などのマグネシウム合金板のみを設置して行うが、成形実験を行っていくうちに、補助板を設けると割れも生じず、補助板の変形に沿って形状が変化することになった。その結果、成形性が良くなるのかを検討するためにマグネシウム合金板の上下面にアルミニウム合金の補助板①および②のどちらか、または両方を設置することを実験条件として検討した。また、電極部は円筒状のPOM

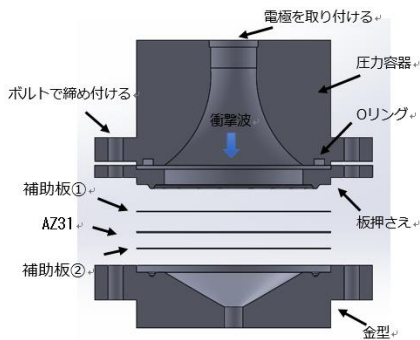


図5 放電成形装置概略図

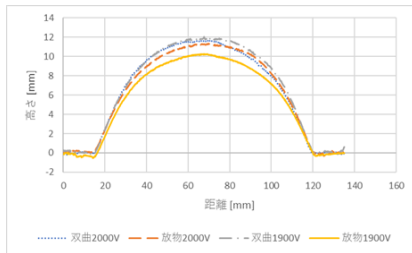


図6 補助板①のみでの成形形状

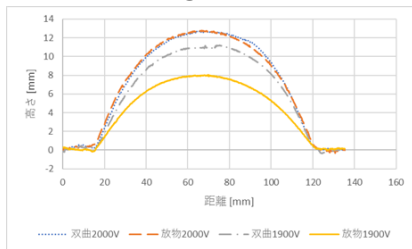


図7 補助板②のみでの成形形状

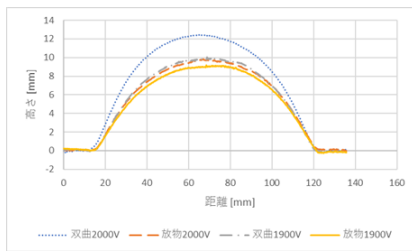


図8 サンドイッチ方式での成形形状

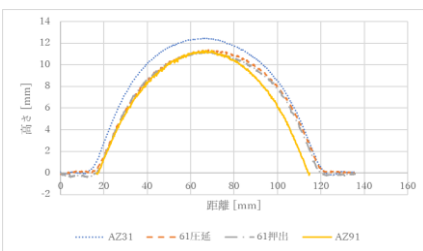


図9 材料の違いによる成形形状の比較

材に直径3mmの真鍮棒を刺し、その真鍮棒間に純アルミニウム細線を巻いたものを使用した。充電電圧を1900V、2000Vとした。これらの条件において補助板①のみ、補助板②のみ、両方を使用したサンドイッチ方式の場合の成形実験を行った。対象とするマグネシウム合金は板厚2.0mm、直径140mmのAZ31材とした。図6は補助板①のみ、図7は補助板②のみ、図8はサンドイッチ方式でAZ31板をアルミニウム板で挟み込んだ場合の成形形状である。補助板を上側に設置した場合には、放物型よりも双曲型の方が成形量が大きくなっていることがわかる。また、充電電圧も大きい方が成形量が大きくなっている。その逆の場合には充電電圧の大きい方が成形量も大きい、2000Vの場合、圧力容器による影響はあまりみられなかった。サンドイッチにした場合、成形板全体の質量が増加し、その分成形量が小さくなるが、充電電圧が2000Vの場合は、双曲型の圧力容器を使用すると、他の場合と同等の成形量を得ることができた。図9はAZ31、AZ61、AZ91材の材料の違いによる成形形状の比較を示している。実験条件は双曲型の圧力容器、サンドイッチ方式とした。充電電圧はAZ91は割れやすいので1600Vとし、他の材料は2000Vとした。AZ31材の変形量が最も大きく、AZ61材の場合、押し、圧延の加工プロセスの影響はみられず、同等の成形形状であった。AZ91材は材料入手の都合で直径100mmのものを補助板中央に貼り付けて成形を行ったので比較し難いが、形状を比較するとAZ61材と同等の形状となった。

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

従来、マグネシウム合金板の成形においては200°C以上の高温での静的なプレス成形が主に行われており、温度上昇させることなく常温での成形はほぼ困難とされてきた。一方では、地球環境問題である低炭素化社会の実現に向けては、よりエネルギーコストを削減させることが重要課題である。そのため、現在行われている高温状態での成形方法では、材料ばかりでなく、装

置全体の温度を上昇させ、それを維持することが必要であり、消費電力量が大きい。その反面、放電成形の場合に必要な電力は殆ど比較にならないくらいの低消費電力量である。自動車や航空機産業でも、低炭素化社会の実現のため、強度を維持しながら軽量化を図ることが課題となっており、比強度が大きいことがメリットであるマグネシウム合金材の活用が益々発展しつつある。そのため本研究のような常温での成形技術開発を進展させることで、これらの問題解決に繋がると期待されている。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

一般のプレス機によるマグネシウム合金の成形加工では、常温で行うには困難であり、材料そのものの問題点もある。本研究課題のような高速変形を伴うような加工法は、まだまだ未知なる見解が多く、さらにこれまで多くの材料の大変形を可能にしてきた分野でもあり、今後の発展に期待されている。本研究事業で得られた知識を進展させるためには、マグネシウム合金の性質を考慮しながら、高速変形時の材料工学的な情報の取得や今回の研究内容のようなマグネシウム合金が破壊しないように補助板を用いた場合の効果の解明と補助板なしでいかに衝撃圧力を制御するかということが課題となってくる。これらの情報、知識を得るためには今回の研究内容が大きく寄与されるものと考えられる。現在注目を集めているKUMADAIマグネシウムの活用を進展させるべく、この材料の高速成形時の特性を調査し、さらに実用化に向けて進展させることができれば、将来の目標に近づくものと考えられる。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

井山裕文，山口隼人，西雅俊，比嘉吉一，金属細線放電による水中衝撃波を用いたマグネシウム合金の成形，第72回塑性加工連合講演会講演論文集，pp. 35-36(2021).

そのほか順次、口頭発表、論文発表を行う予定である。

#### 7 補助事業に係る成果物

##### (1)補助事業により作成したもの

・衝撃波発生装置

・マグネシウム合金の張出し成形品

##### (2)(1)以外で当事業において作成したもの

なし

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 熊本高等専門学校(クマモトコウトウセンモンガッコウ)

住 所: 〒866-8501

熊本県八代市平山新町2627

担 当 者: 教授 井山裕文(イヤマヒロフミ)

担 当 部 署: 生産システム工学系APグループ

(セイサンシステムコウガクケイエーピーグループ)

E - m a i l: eyama@kumamoto-nct.ac.jp

U R L: <https://kumamoto-nct.ac.jp/>