

(別 紙)

事業の実施状況

1. 実施経過

① 急凝固高強度マグネシウム合金製造実験

2020年5月1日～2020年6月30日 実験装置の組付け，予備実験

2020年7月1日～2020年9月30日 実験装置によるMg合金溶解実験

2020年10月1日～2020年12月23日 マグネシウム合金製造実験および組織観察

2020年12月24日～2021年9月27日 Sn入りMg合金の急凝固実験

② 高強度Mg合金凝固解析

2020年7月1日～2020年7月15日 解析ソフトインストール，解析モデルの作成

2020年7月16日～2020年7月31日 ロール鑄造モデルの検証および解析

2020年8月1日～2020年9月30日 高強度Mg合金の連続鑄造解析

2020年10月1日～2020年10月30日 連続鑄造解析における熱伝達係数の推定

2020年11月1日～2021年10月30日 急凝固クラッド試験の凝固解析

③ 樹脂/高強度 Mg 合金二層積層材作成実験および解析

2020年7月1日～2020年7月31日 樹脂/高強度Mg合金二層材解析モデル作成

2020年8月1日～2020年8月31日 樹脂/高強度Mg合金二層材引張せん断解析

2020年9月1日～2020年10月30日 樹脂/高強度Mg合金二層材界面応力解析

2020年11月1日～2020年12月23日 樹脂/高強度Mg合金二層材引張せん断試験

2020年12月24日～2020年9月27日 樹脂/高強度Mg合金最適接合条件の調査

2020年9月28日～2021年9月27日 樹脂/高強度Mg合金接合条件とせん断力の関係調査

④ 樹脂/高強度 Mg 合金二層積層材接合強度の評価

2020年10月1日～2020年11月30日 接合界面のせん断応力特性の解析と実験

2020年11月30日～2021年3月10日 シランカップリング剤の影響調査

2021年3月11日～2021年9月27日 シランカップリング剤の最適条件の調査

⑤ 研究発表

2020年9月3日～2020年9月6日 ICEIM2010 (10th International Conference on Engineering and Innovative Materials) に参加，研究発表2件

2020年11月14日～2020年11月15日 日本塑性加工学会，第71回塑性加工連合講演会に参加，研究発表2件

2021年9月24日～2020年9月26日 ICEIM2010 (11th International Conference on Engineering and Innovative Materials) に参加，研究発表2件

⑥ 報告書の作成（1年目）

2021年2月20日～2021年3月15日 実験データの整理とまとめ

2021年3月16日～2021年3月31日 1年目の報告書の作成

2. 実施内容

① 急凝固高強度マグネシウム合金製造実験

本事業においては、マグネシウム(Mg)合金と樹脂を接合し、接合強度の高い接合方法を開発し引張せん断試験で25MPa以上の接合強度を保証する接合方法を提案することが重要である。このためには、Mg合金の表面状態をサブナノオーダーに凹凸をつけ接合強度を改善するための表面の粗面化を行う必要がある。このため、Al含有量の多いマグネシウム(Mg)合金の急凝固の際に晶出する β -Mg₁₇Al₁₂相の析出状態の変化によりどのような粗面になるのかを表面の顕微鏡観察と断面曲線の取得により明らかにしすることを目的として実験を行った。

図1-(a)に実験で使用した急凝固装置（横型双ロールキャスター）の概略図を、図1-(b)にノズル部分を示す。また、双ロール鋳造実験条件については表1に示している。

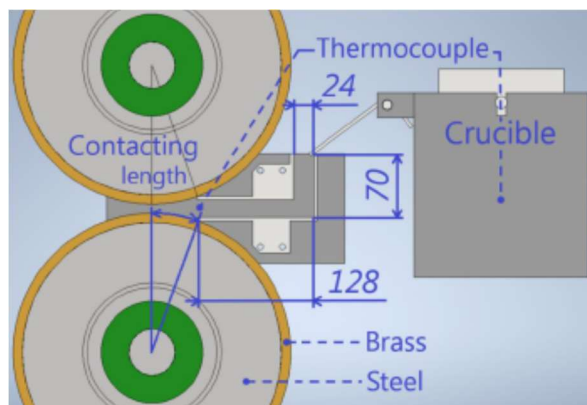


図1-(a) 実験に使用した横型ロールキャスター概略図



図1-(b) 横型ロールキャスターノズル部分

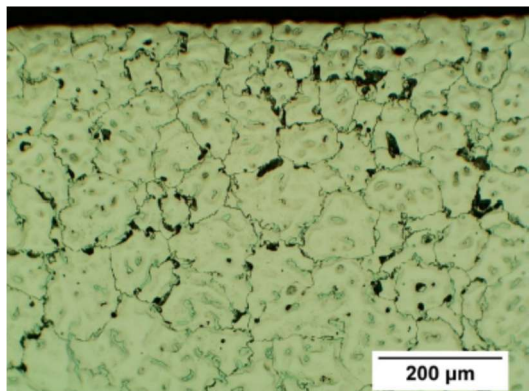
表1 双ロール鋳造実験条件

ロール直径D [mm]	300
ロール幅B [mm]	150
ロール周速度V [mm]	2.9, 3.2
ロール接触長さ L_c [mm]	50
ロール材料	純銅

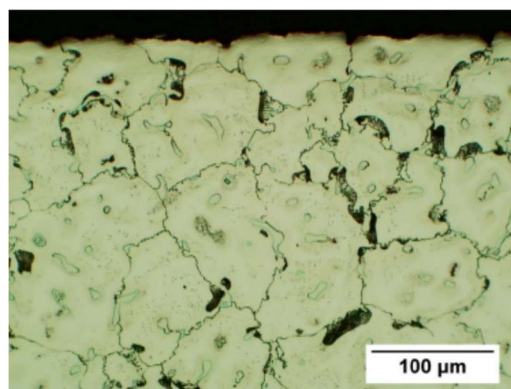
ロール周速は予備実験から求めた溶湯がロールに接触している時間と凝固層の厚さの関係から決定した。また、注湯時のるつぼ内の温度はロールに接触するときの溶湯温度が液相線近傍の半凝固域となることが望ましい。予備実験により液相線温度で注湯した際のノズル内での温度低下は約 17 °Cであることがわかっているため、注湯温度は液相線温度より 5 °C高い温度に決定した。Mg-Al 系マグネシウム合金の鋳造まま材（質別 F）には α 相の Mg 固溶体と β 相の $Mg_{17}Al_{12}$ の2相が存在する。また接合実験で使用する予定のシランカップリング剤は金属側表面の水酸基と反応し水素結合した後に、脱水することで化学結合する。金属側表面に水酸基が多いほど反応しやすいため、金属側の表面状態により結合力が変化する。金属側表面の状態が、シランカップリング処理による結合力にどのような影響を与えるかを調べるため、作成した AM100 鋳造まま材において α 相単相とする溶体化処理（質別 T4）と β 相の面積率を増加させる時効処理（質別 T6）をそれぞれ行なった。また表1に示すようにロールギャップを変えると β 相が微細に分散される傾向がみられた。そのため、本実験ではロールギャップ減少率が 0 %と 5 %（見かけの圧下率）の板材を作製し、結晶組織の観察を行った。双ロール鋳造実験において得られた板材の外観の一例を図2に示す。



図2 双ロール鋳造実験において得られた板材の外観（AM100）

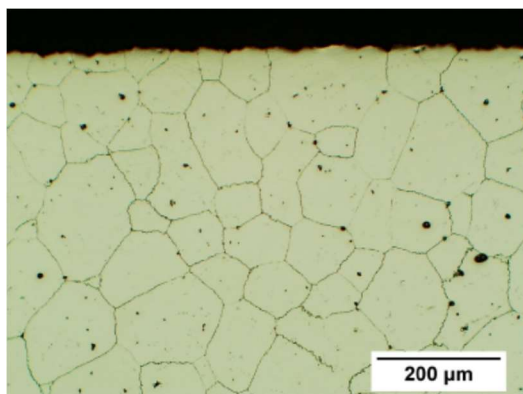


(a) 倍率100倍

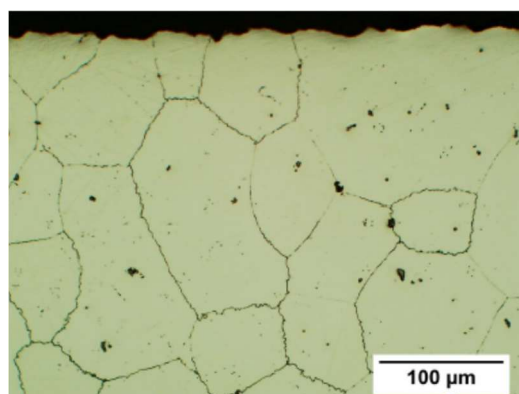


(b) 倍率200倍

図3 圧下率 0 %の鑄造まま材の結晶組織

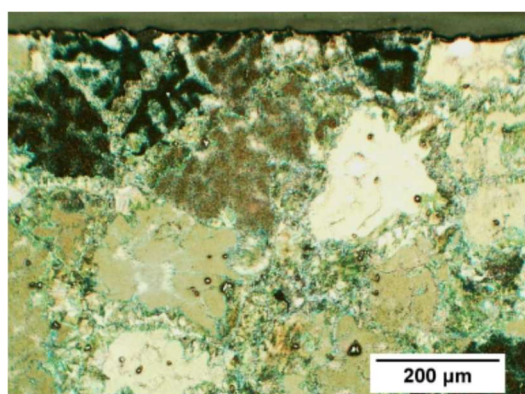


(a) 倍率100倍

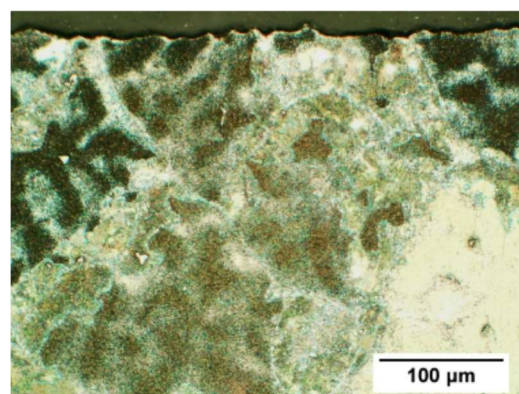


(b) 倍率200倍

図4 圧下率 0 %の鑄造まま材の結晶組織



(a) 倍率100倍

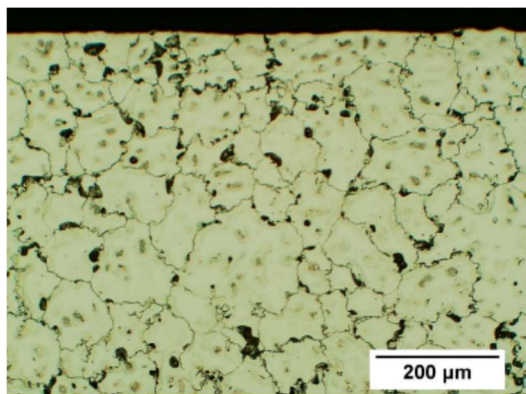


(b) 倍率200倍

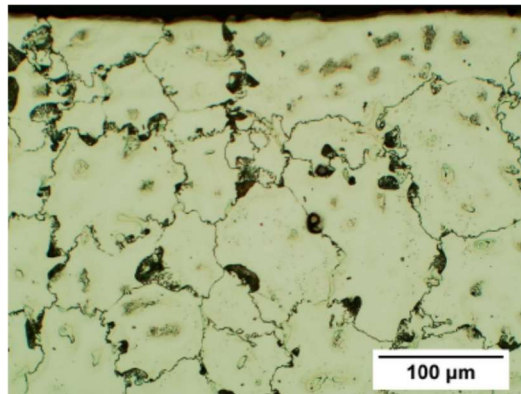
図5 圧下率 0 %の鑄造材を溶体化処理した板材の結晶組織

圧下率 0 %の鑄造まま材を光学顕微鏡で観察した際の結晶組織を図3(a)および図3(b)に示す。圧下率 5 %の鑄造まま材の結晶組織を図4(a)および

図4(b)に示す。圧下率 0 %の素材を溶体化処理した場合の板材の結晶組織を図5(a)および図5(b)に示す。また、圧下率 5 %の鑄造まま材を溶体化処理した板材の結晶組織を図6(a)および図6(b)に示す。

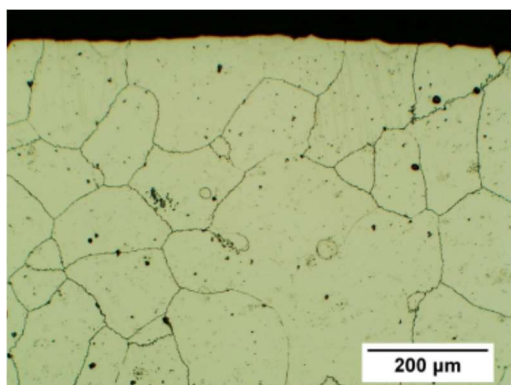


(a) 倍率100倍

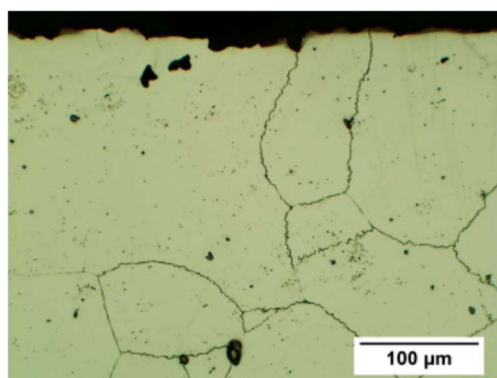


(b) 倍率200倍

図6 圧下率 5 %の鑄造材を溶体化処理した板材の結晶組織

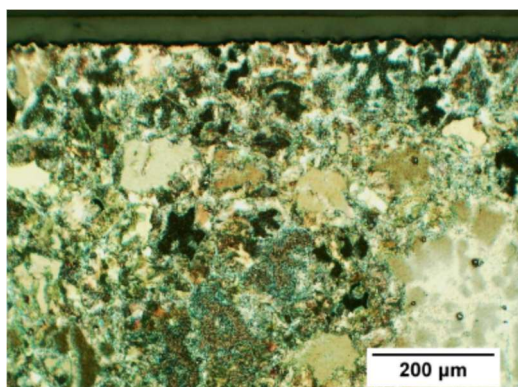


(a) 倍率100倍

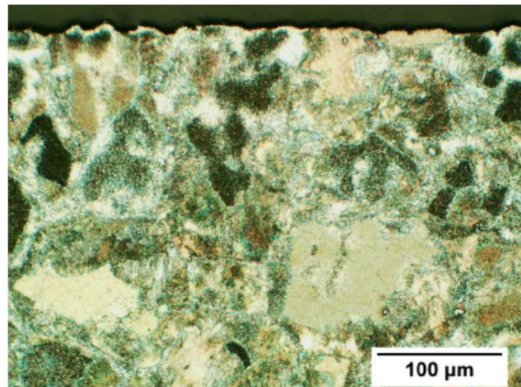


(b) 倍率200倍

図7 圧下率5 %の鑄造材を溶体化処理した板材の結晶組織



(a) 倍率100倍



(b) 倍率200倍

図8 圧下率5 %の鑄造材を溶体化処理した板材の結晶組織

鑄造まま材の結晶組織は α 相の中に β 相が晶出していることが観測される。また、Fig. 2. 2. 9(b)に示す A では、 β 相の内部に α 相が点在している共晶がみられる。Fig. 2. 2. 9(b)に示す B では、 α 相と β 相からなる層状の析出相がみられる。

溶体化処理を行った板材では、 β 相が認められないことから、Al 元素が母相中に固溶していることが確認できた。また、時効処理を行った板材では、全体が α 相と β 相からなる層状の析出相となっていることが観察された。そこで、急冷凝固した β -Mg₁₇Al₁₂相の析出状態の変化によりどのような粗面となるのかを表面の顕微鏡観察と断面曲線の取得により明らかにすることを試みた。鑄造用のMg-Al系合金の中でAl元素の添加量が最も多いAM100を材料として作製した厚さ10 mmの双ロール鑄造材に異なる熱処理を行い供試材とした。すなわち、 β -Mg₁₇Al₁₂相の析出状態を変化させた試料を作製するため作製した双ロール鑄造材を使用し、作製した双ロール鑄造材に溶体化処理を行った後、連続析出のみが生じる温度と不連続析出のみが生じる温度の2条件で時効処理を行った。表2に熱処理の条件を示す。また、熱処理後の鑄造材の組織観察は板厚方向断面を円板表面と同様の方法で研磨した後に、クエン酸10 gと蒸留水90 gを混合したミクロ腐食液によりエッチングし光学顕微鏡により行った。

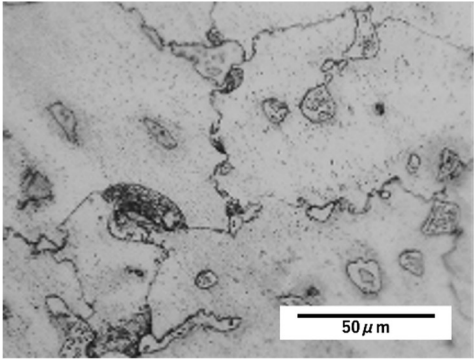
表 2 熱処理の条件

熱処理	温度 / K	時間 / ks	冷却方法
溶体化処理	693	86.4	強制冷却
時効処理（連続析出）	633	28.8	
時効処理（不連続析出）	478	86.4	

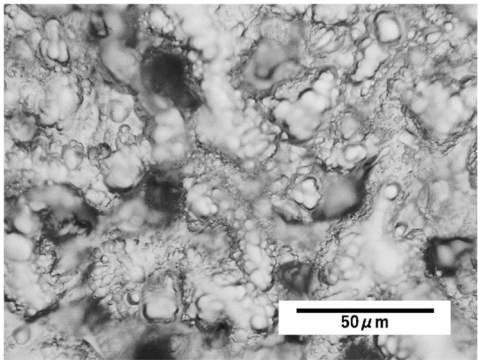
さらに、熱処理条件が異なる鑄造材に浸漬時間を変えて酸洗いをを行い、光学顕微鏡による観察と表面粗さ測定機により得た断面曲線から表面の変化を調査した。また、酸洗時の残滓物を除去することを目的とした脱スマット処理を行った。表面の粗面化にも脱スマット処理は影響を及ぼすと考えられるため、表面の観察と断面曲線の取得を行った。酸洗と脱スマット処理の条件を表3に示す。酸洗、脱スマット処理後は、光学顕微鏡を用いて試験片の表面を観察した。全試験片において、触針先端の曲率半径2 μ m、先端角度 60° の表面粗さ試験機(SE300, Kosaka Laboratory Ltd.)を用いて表面粗さの測定を行った。図9、図10、図11にそれぞれ、F材、連続析出の条件のT6材、不連続析出の条件のT6材の酸洗い前の結晶組織と3分間酸洗いした後の試験片の結晶組織を示す。

表 3 表面処理の条件

表面処理	Composition	Concentration / wt%	Holding time / s		
酸洗	C ₂ H ₄ O ₂	10.0	120	180	240
脱スマット処理	NaOH	5.0	180	—	—

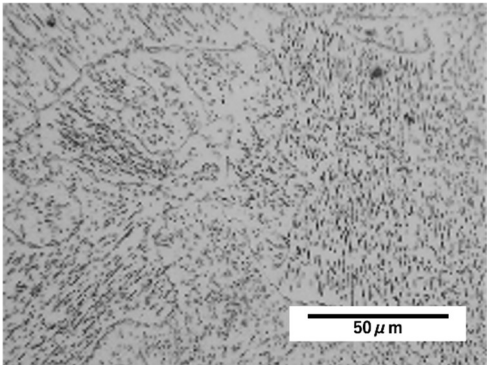


(a) 鑄造まま材

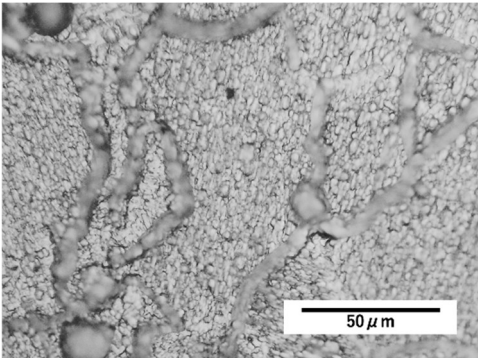


(b) 180秒酸洗後

図9 鑄造まま鑄造材および酸洗後の結晶組織

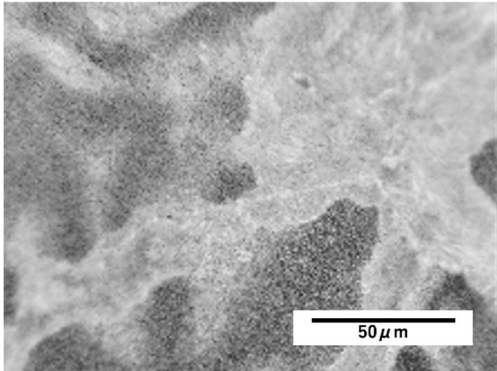


(a) 熱処理材（連続析出）

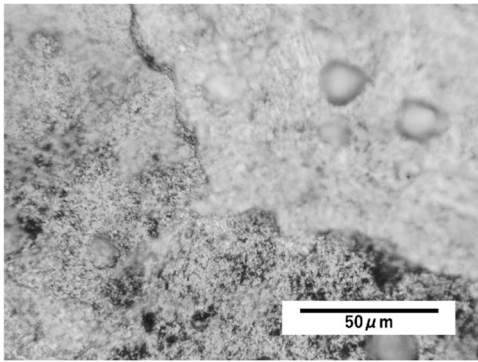


(b) 時効処理後180秒酸洗

図10 熱処理材および不連続析出の条件で酸洗後の結晶組織



(a) 熱処理材（不連続析出）



(b) 時効処理後180秒酸洗

図11 熱処理材および不連続析出の条件で酸洗後の結晶組織

図9(a)および図9(b)にF材の酸洗前および酸洗後の組織を、図10(a)の熱処理材(不連続析出条件)の組織、図10(a)の酸洗後の結晶組織を、図11(a)の熱処理材(連続析出条件)の組織、図11(a)の酸洗後の結晶組織を、を示している。この結果から、図10(b)の連続析出の条件で酸洗後の結晶組織は、粒界に溝のような高さの違いが観察されている。一方、粒内は細かく均一に腐食して、酸洗によって均一な粗面化ができたことが確認できた。表4に熱処理の条件と酸洗の時間によるMg合金の表面の最大粗さを計測した結果を示している。

表4 Average surface roughness after surface treatment.

酸洗時間 / s	脱スマット時 間 / s	熱処理	平均粗さ / μm
120	—	As-cast	0.988
		Aged (continuous)	0.329
		Aged (discontinuous)	0.435
180	—	As-cast	1.923
		Aged (continuous)	0.463
		Aged (discontinuous)	0.688
240	—	As-cast	2.079
		Aged (continuous)	0.932
		Aged (discontinuous)	0.914
120	180	As-cast	1.031
		Aged (continuous)	0.188
		Aged (discontinuous)	0.352

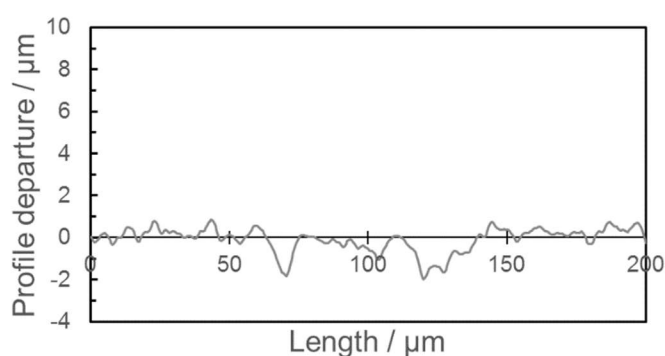


図12

断面

また、図12に連続析出の条件で180秒酸洗した場合の表面の断面プロファイルの一例を示している。この場合の最大高さは約 2μ 程度であり、粒内は $1\mu\text{m}$ より微細な凹凸ができることが確認された。この状態でシランカップリング剤を用いて、樹脂と接合すれば強固な接合になることが明らかになった。

② 強度Mg合金凝固解析

(a) 解析方法

双ロール鋳造実験においては、ロール周速は予備実験から溶湯がロールに接触している時間と凝固層の厚さの関係から決定した。しかしながら、実際の凝固の条件に関しては、凝固完了時点をどこに設定するかで結晶の組織や β 相の晶出が異なるため、凝固解析を行い実際の凝固の条件を予測しておく必要がある。このため、本研究では図13に示す双ロール鋳造モデルの構築を検討した。解析にはANSYSを用いて、ロールは純銅、Mg合金材料はAZ31として、各材料の物性値を使用した。

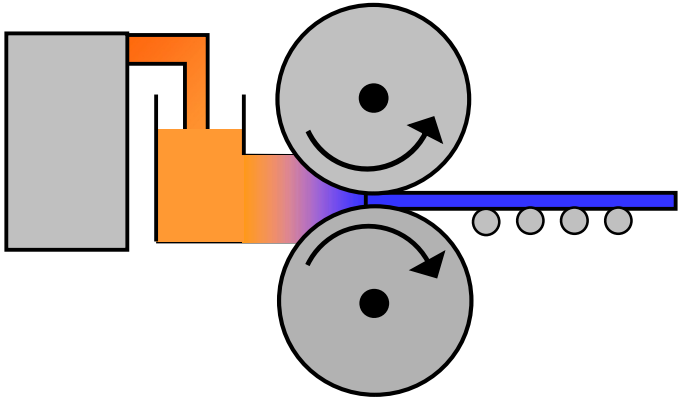


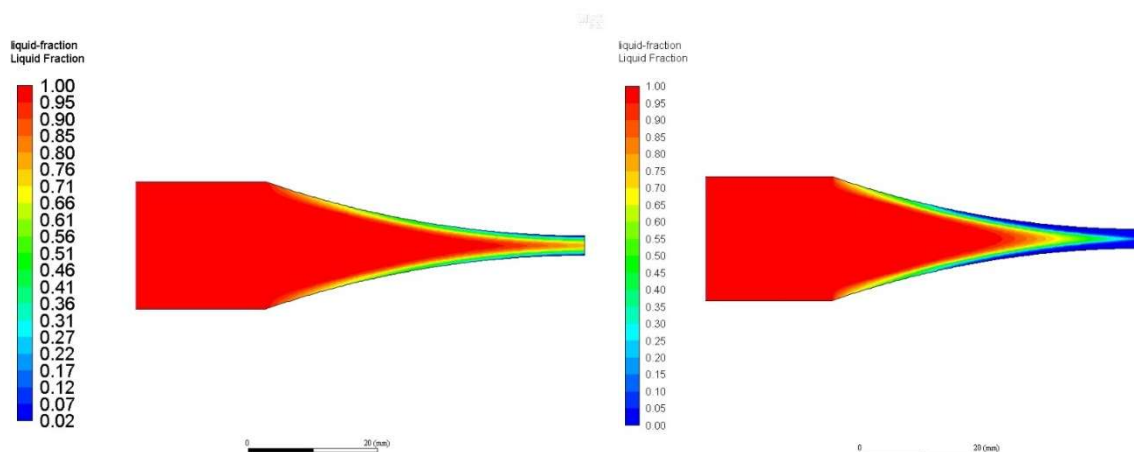
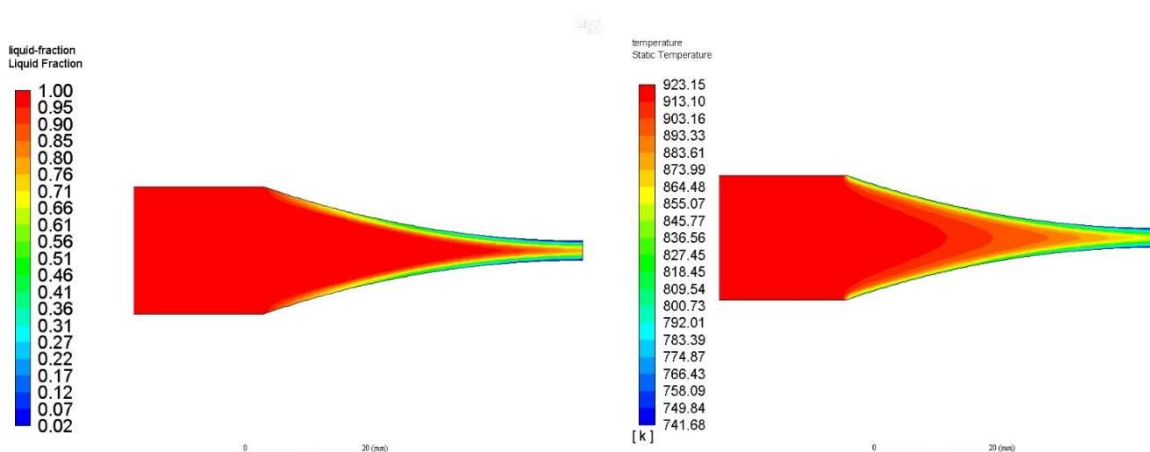
図13 双ロール鋳造モデルの概略図

表5 解析条件

材料	AZ31
ロール周速度 $V[\text{m}/\text{min}]$	25
鋳造温度 $T_c[\text{K}]$	923
液相線温度 T_l	903
固相線温度 T_s	845
凝固厚さ $t_c[\text{mm}]$	3, 4, 4.5, 6, 8
ロールと溶湯間熱伝達係数 h [W/m ² K]	$h = 17300 \cdot V_{\text{cast}}^{0.65} = 9793$ (Case00) 22000(Case01)

(b) 解析例

熱伝達係数の違いが、凝固の温度分布に与える影響を調査した14(a)、図14(b)、に熱伝達係数の違いによる温度分布形状の違いを示す。また、図15(a)、図15(b)に半凝固部分のエリアの分布（図中のカラー部分が半凝固領域）を示している。図14(a)より文献から得られた熱伝達係数では溶湯は出口付近ではまだ未凝固であり申請者らが、実験から推定した熱伝達係数のほうがより実験値と対応していることが確認できる。図15(a)、図15(b)の結果からは、申請者らが実験と解析から推定した、純銅ロールとAZ31溶湯の間の熱伝達係数、 $h=22000\text{ [W/m}^2\text{K]}$ を使用した際には、凝固点はほぼロール直下の位置にあることを確認できた。

図14(a) 温度分布 ($h=9793\text{ [W/m}^2\text{K]}$)図14(b) 温度分布 ($h=22000\text{ [W/m}^2\text{K]}$)図15(a) 半凝固域 ($h=9793\text{ [W/m}^2\text{K]}$)図15(b) 半凝固 ($h=22000\text{ [W/m}^2\text{K]}$)

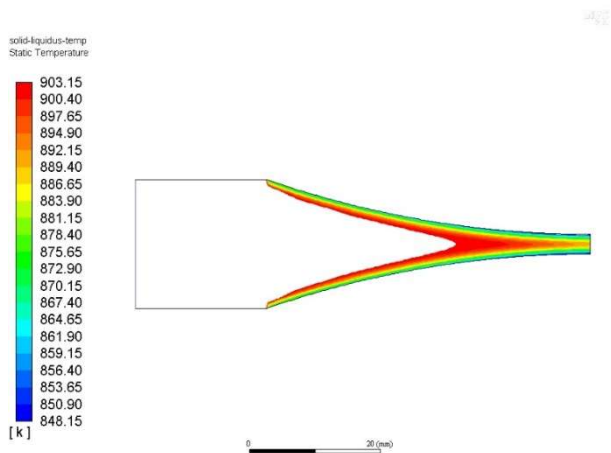


図16(a) 半凝固域 ($h=9793\text{ [W/m}^2\text{K]}$)

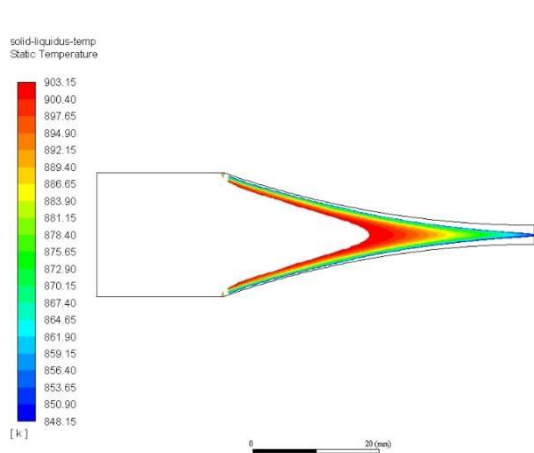


図16(b) 半凝固域 ($h=22000\text{ [W/m}^2\text{K]}$)

表6 AZ31の熱伝達係数を求めるための逆解析の解析条件

ロール周速度 $V\text{ [m/min]}$	5	10	15	20	25
凝固厚さ $t_c\text{ [mm]}$	8	6	4.5	4	3
解析の条件 (Case)	005	004	003	002	001

このロール鋳造の解析結果を踏まえて、熱伝達係数のロール周速度の依存性を求めるための逆解析を行った。解析の条件を表6に示す。

また、5つの解析例から得られた固相—液相分布を図17(a)，図17(b) 図17(c)，図17(d) および図17(e)に示す。

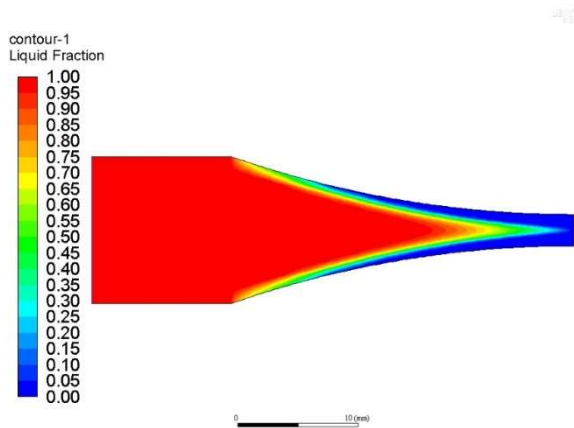


図17(a) 液相率分布
($V=25\text{m/s}$, $h=22200\text{W/m}^2\text{K}$)

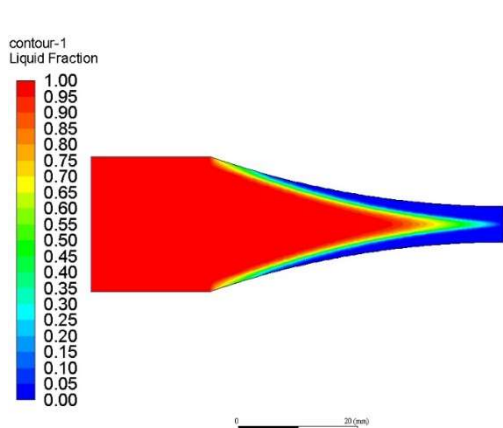


図17(b) 液相率分布
($V=20\text{m/s}$, $h=26500\text{W/m}^2\text{K}$)

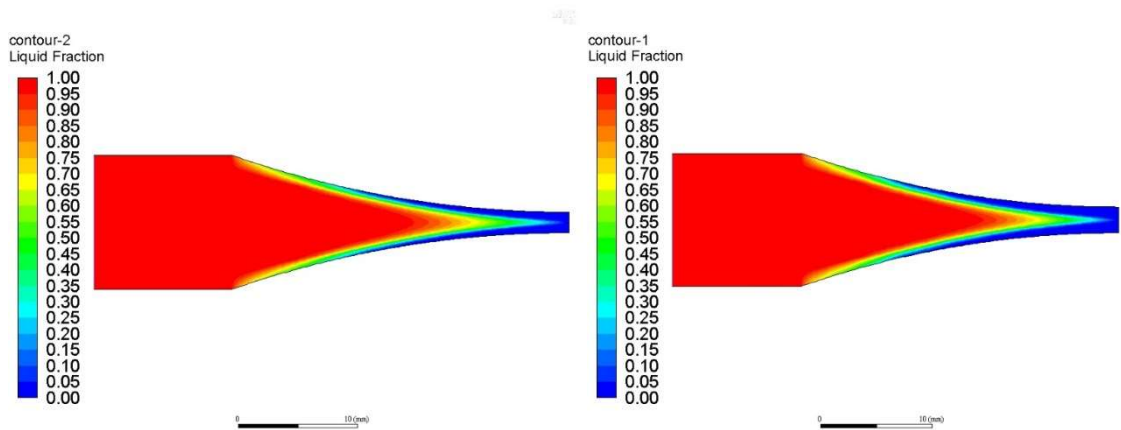


図17(c) 液相率分布
($V=15\text{m/s}$, $h=21800\text{W/m}^2\text{K}$)

図17(d) 液相率分布
($V=10\text{m/s}$, $h=20800\text{W/m}^2\text{K}$)

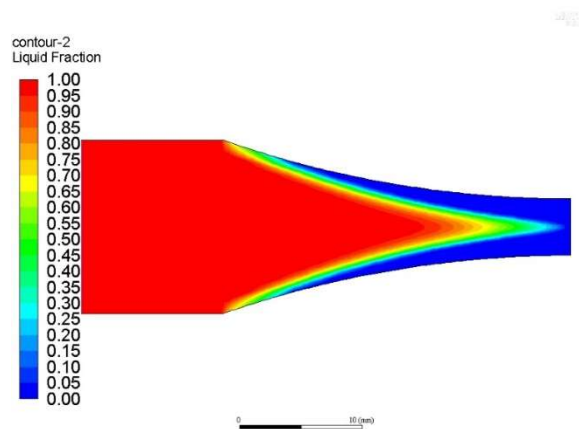


図17(e) 液相率分布 ($V=5\text{m/s}$, $h=13100\text{W/m}^2\text{K}$)

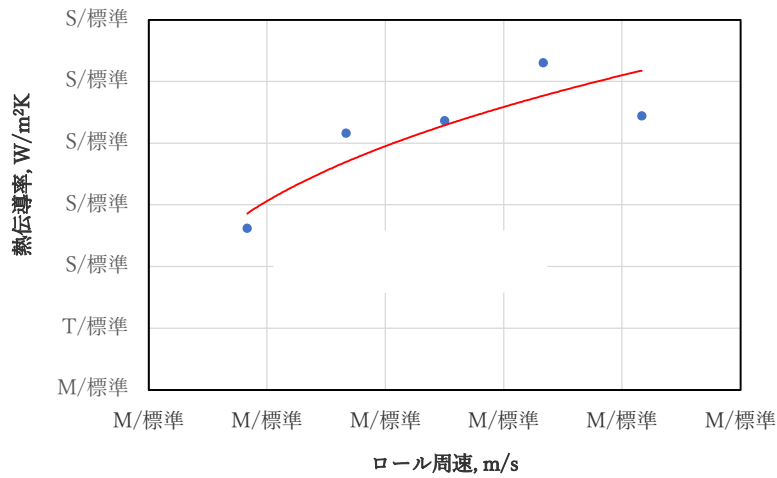


図18 ロール周速度と熱伝達係数の関係

図18に示すように、ロール周速度を熱伝達係数の関係を近似式として求めた。この結果、熱伝達係数 h は、 $h = 35748 \cdot V_{\text{cast}}^{0.3687}$ として表せば、実際のロール鑄造の予測式として使用できることを明らかにした。今後は、ロールと溶湯間の接触域での熱伝達係数の表し方についてさらに研究を進めて行く必要がある。

③ 樹脂/高強度 Mg 合金二層積層材作成実験および解析

従来、接着接合部の強度を評価するためには、単純重ね継手、二重重ね継手を用いて試験が行われてきた。図19の単純重ね継手の場合、接合面が単一のため同条件での接合が容易であるが、板厚の増加に伴い接合部に偏心曲げモーメントが作用し、継手部分の力学的状態は単純せん断とは異なる状況になる。一方、図20の二重重ね継手の場合は、偏心モーメントは生じず変形はしにくい。しかし接合面が二か所になる点に問題がある。このため、本課題では接手形状の影響がせん断強度にどのように影響するのか、解析的方法で調査する。

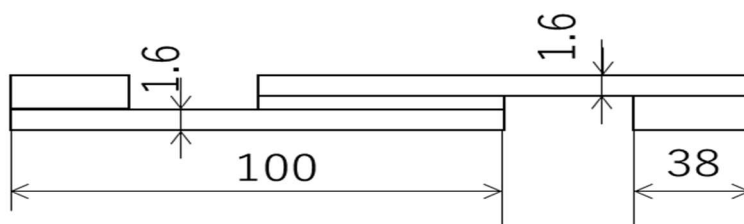


図19 単純重ね継手

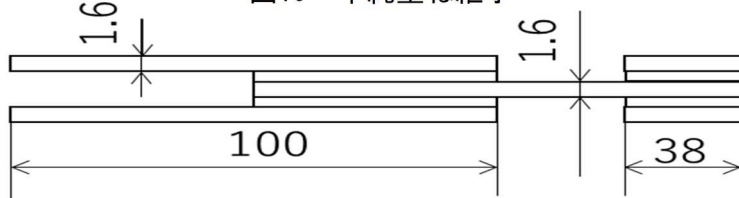


図20 二重重ね継手

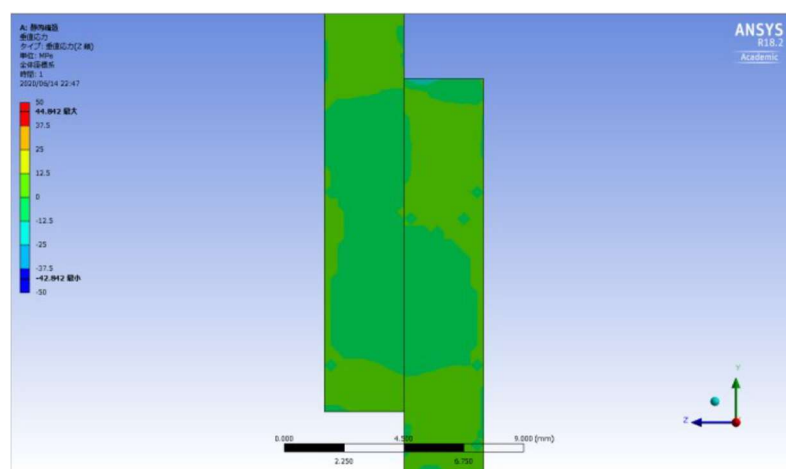


図21 単純重ね継手の接合部におけるせん断応力の一例

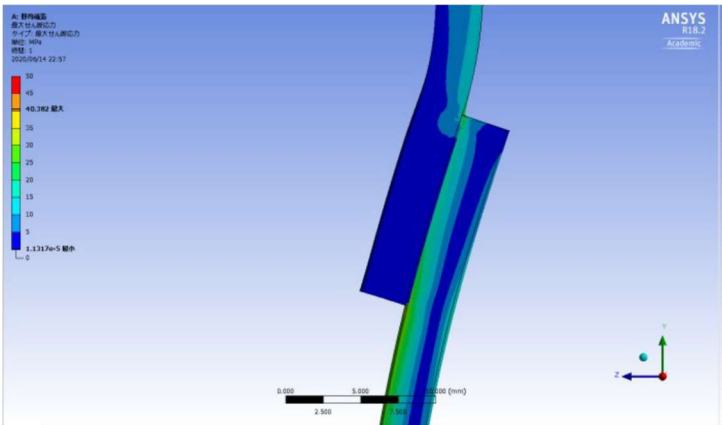


図22 単純重ね接手の接合部における板厚方向の応力解析の一例

接着接合部の強度を評価するために、単純重ね継手、二重重ね継手を用いて解析的に接合部のせん断応力がどの程度変わってくるのか、一連の解析を行った。その結果、図19の単純重ね継手の場合、限界の最大せん断応力の値が、20～25MPaになるのに対し、図20の二重重ね継手の場合、同じ材料の解析（ここでは、Mg合金板材と樹脂PA6の重ね継手について解析した）で、最大せん断応力の値が、40～45MPaになることが判明した。この結果を踏まえて、図20に示す二重重ね継ぎ手の形状での試験を行うこととした。解析において使用した、接合部の接着厚さは0.5mm、また、接着層の材質にはエポキシ樹脂を用いた。また、金属側のMg合金材料はAZ91、樹脂側はPA6（ナイロン6）とした。解析に使用した材料の物性値を表7に示す。

表7 引張せん断試験（解析）に使用した材料および接着部の物性値

	AZ91	PA6	Epoxy resin
Density(kg/m ³)	1.81	1.12	1.14
Young's modulus(GPa)	44800	2758.1	4940.0
Poisson's ratio	0.35	0.35	0.39
Yield stress(MPa)	145	70.4	12.4
Longitudinal modulus of elasticity(MPa)	4480	275.8	494.0

図23に、図19に示す単純重ね接手の両端に80Nの大きさの引張力を与えた場合の引張試験の接合部のせん断応力の分布の解析結果の一例を示している。

図23において示しているせん断応力は、板材がAZ91どおしの場合を青、PA6とAZ91の場合を、朱色の点線で、AZ91とPA6の試験片位置を交代した場合を灰色の一点鎖線で示している。

図24に、図19に示す単純重ね接手の両端に80Nの大きさの引張力を与えた場合の接合部界面に垂直方向の応力 σ_z の分布の解析結果の一例を示している。

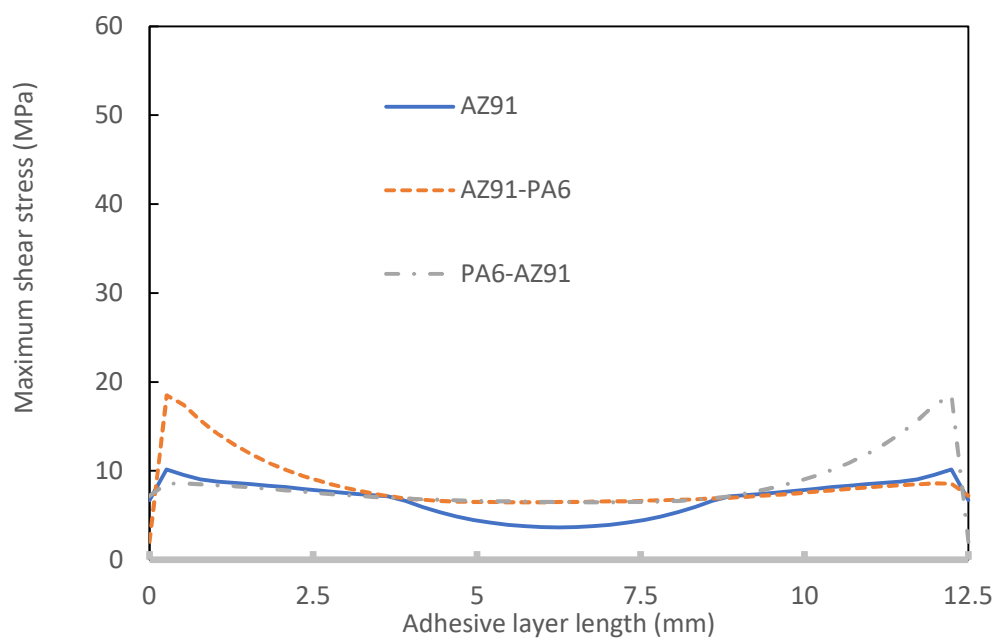


図23 単純重ね接手における接合部のせん断応力 τ_{xy} の分布 (P=80N)

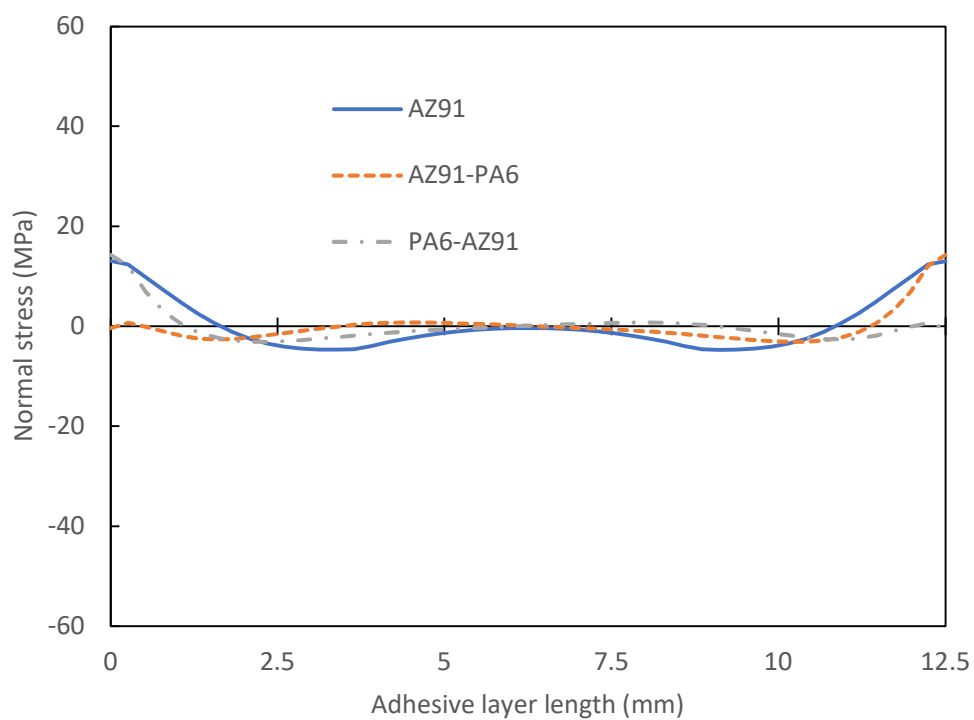


図24 単純重ね接手における接合部界面に垂直方向の応力 σ_z の分布 (P=80N)

図25に接合部の単純重ね接手の部分のモーメントを拘束して解析を行なった場合の接合部のせん断応力 τ_{xy} の分布 (P=80N) を、また、重ね接手の部分のモーメントを拘束した場合の接合部界面に垂直方向の応力 σ_z の分布 (P=80N) を図26に示す。

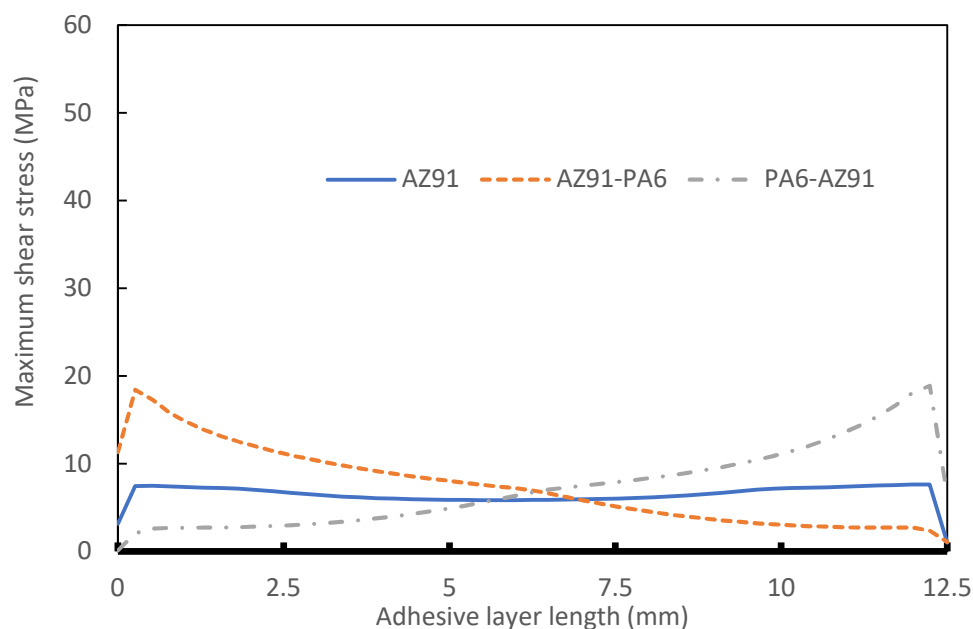


図25 単純重ね接手における接合部のモーメント拘束によるせん断応力 τ_{xy} の分

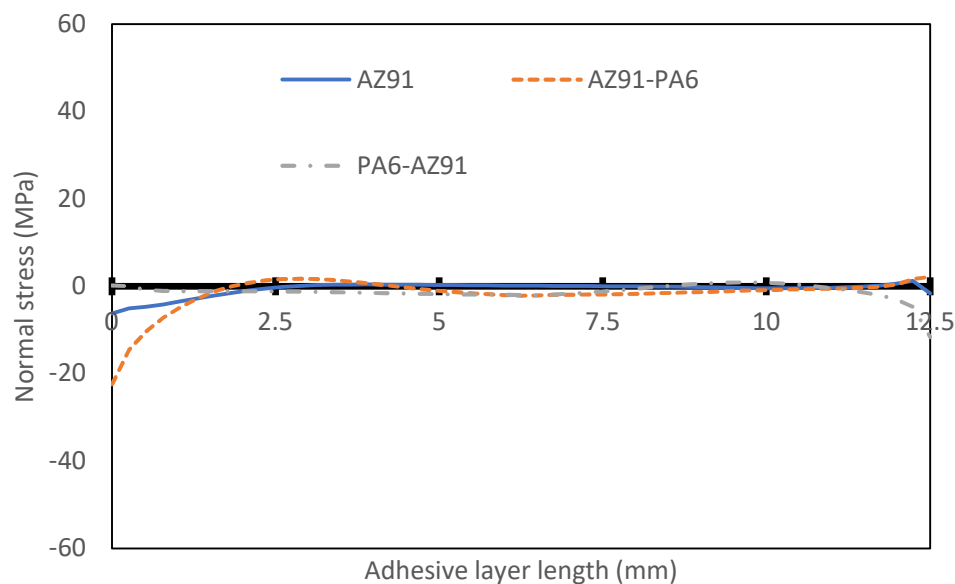


図26 単純重ね接手における接合部のモーメント拘束による接合部界面に垂直方向の応力 σ_z の分布 (P=80N)

図23, 図24, 図25および図26より, 単純引張試験では, 接合個所におけるせん断応力 τ_{xy} の分布の形態は, 試験片の形式 (図19および図20) にはそれほど影響は受けない。しかしながら, 接合個所に作用するモーメントの影響を考慮して, 接合個所に回転モーメントを拘束するような境界条件を与えて解析した場合, 界面に垂直方向に作用する応力 σ_z の分布が大きく変化し, この分布の変化によって接合部の端部には, せん断力 τ_{xy} と垂直応力 σ_z の組み合わせによって大きな特異応力が作用することが理解できる。従って, 垂直応力の影響を受けないためには, 図20に示す二重重ね継手による引張せん断試験が望ましいと考えられる。

④ 樹脂/高強度 Mg 合金二層積層材接合強度の評価

上記の解析結果を踏まえて, AZ91とPA6による二重重ね継手による引張試験を行った。実際に行っ



図27 樹脂/高強度Mg合金二層積層材の引張試験の様子

実験に使用した, 材料は展伸用のAZ31およびPA6である。および, シランカップリング剤は, 信越化学工業(株)のエポキシシラン (KBM-403) およびKBE-903を用いて, Mg合金AZ31およびAM60側の表面をシランカップリング処理した。

シランカップリング剤の効果を最も発揮できる条件を探索するために, 表8に示すシランカップリング剤を使用して, 接合力が高い接着条件を探索することと

した。本研究で使用するシランカップリング剤は、分子内に有機材料および無機材料と結合する官能基を併せ持ち、有機材料と無機材料を結ぶ働きをする。このため異なる材料の接着性の改良や表面改質などに利用できる。アミノシランは熱可塑性樹脂全体に結合における効果があり、アミノシランはポリスチレン、アクリル、ポリ塩化ビニル、ナイロンまたエポキシに優れた効果がある。本研究ではエポキシシランであるKBM-403、アミノシランであるKBE-903を選定した。両方とも水溶液中での安定性が高くpH調整が不要なため取り扱いが容易であるという利点がある。

表8 実験に使用したシランカップリング剤

Product	Chemical name
KBE-903	3-Aminopropyltriethoxysilane
KBM-403	3-Glycidyloxypropyltrimethoxysilane

表9 シランカップリング剤の使用条件

Product	Concentration / wt%	Cleaning time / s
KBE-903	1	360, 120,
KBM-403		1~2(Instant cleaning), No cleaning
No processing	—	

本研究では、単分子の状態でシランカップリング剤をMg合金の表面に載せるためのカップリングの使用条件として、表9に示すような過剰なシランカップリング剤を取り除く工程を加えた条件について検討した。すなわち、濃度1 %のシランカップリング剤水溶液に前処理後の試験片を60 s浸漬し攪拌し、その後余分なシランカップリング剤を取り除くために、イソプロパノールによる超音波洗浄を行った。この洗浄後の工程において、温度22 °C、湿度30 %の環境下で24 h放置し、シランカップリング層を十分に乾燥させたが、表9に示すようにイソプロパノールによる超音波洗浄の時間を、360秒、120秒、1秒～2秒、洗浄無し、の4種類を設定して、シランカップリング剤の洗浄条件を決めて各洗浄条件におけるせん断試験での最大せん断応力の値を調査した。ここでは、Mg合金とシランカップリング剤の使用条件（シランカップリング剤の洗浄条件）が接合に与える影響を明らかにするために、エポキシ系接着剤を用いている。

図28、図29、図30および図31に、表9に示した洗浄条件に対する接合力を示している。

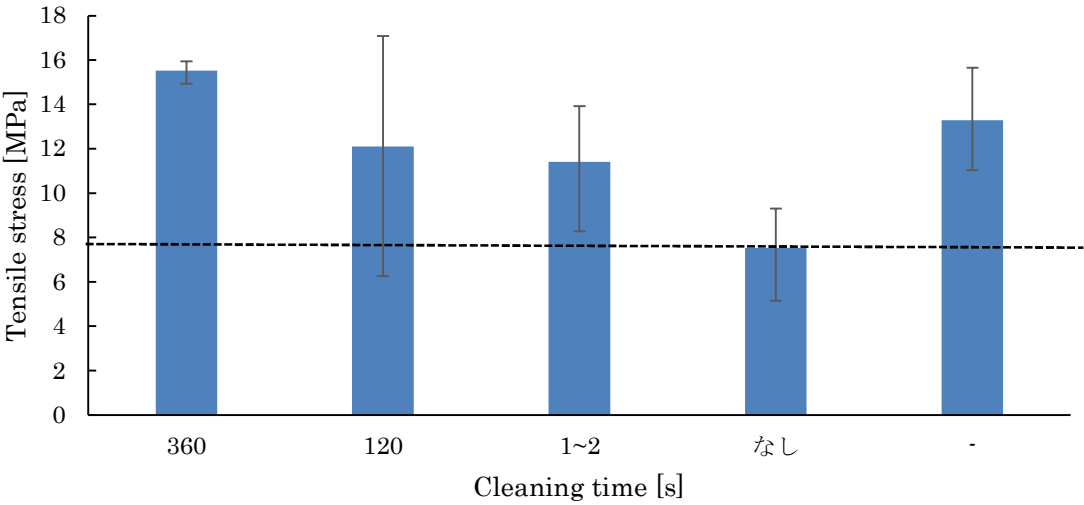


図28 AM60による引張せん断試験の結果 (KBM-903使用)

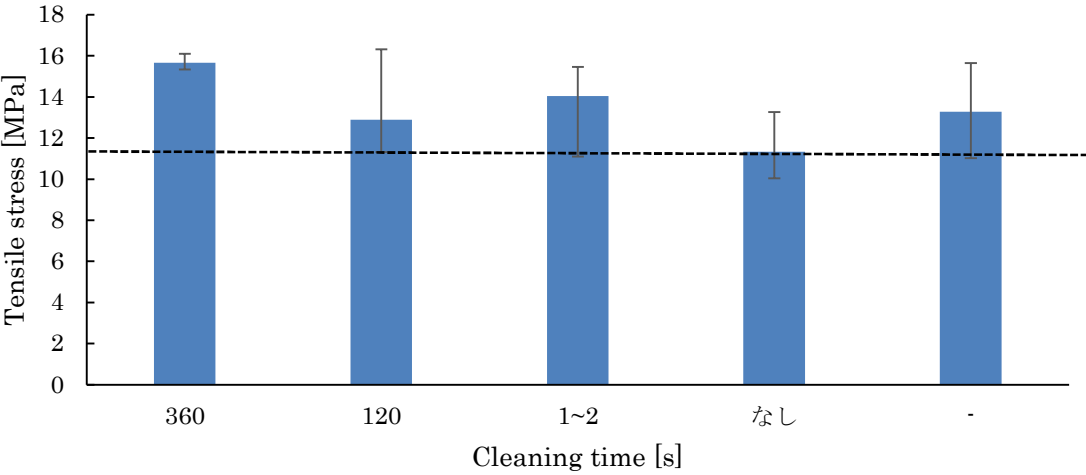


図29 AM60による引張せん断試験の結果 (KBM-403使用)

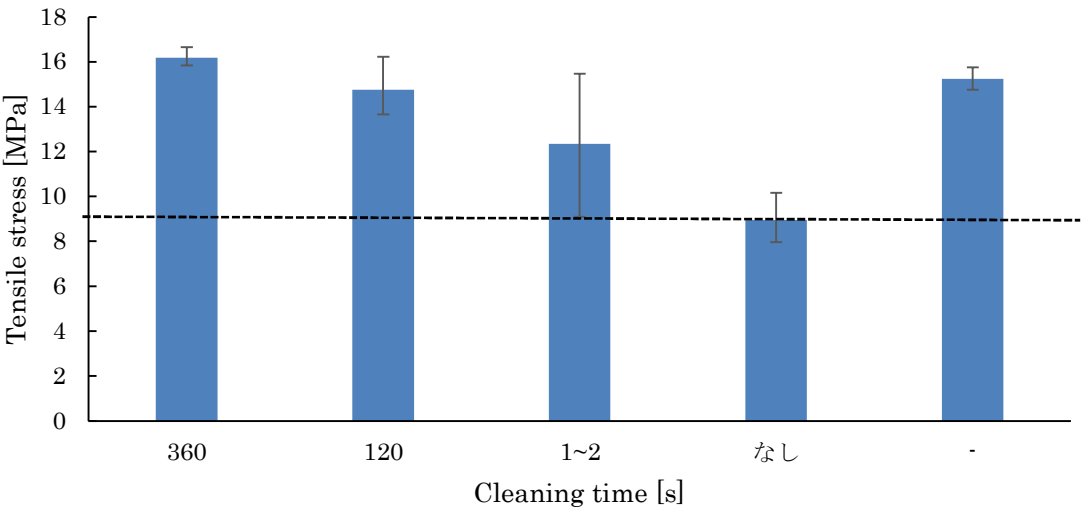


図30 AZ31による引張せん断試験の結果 (KBM-903使用)

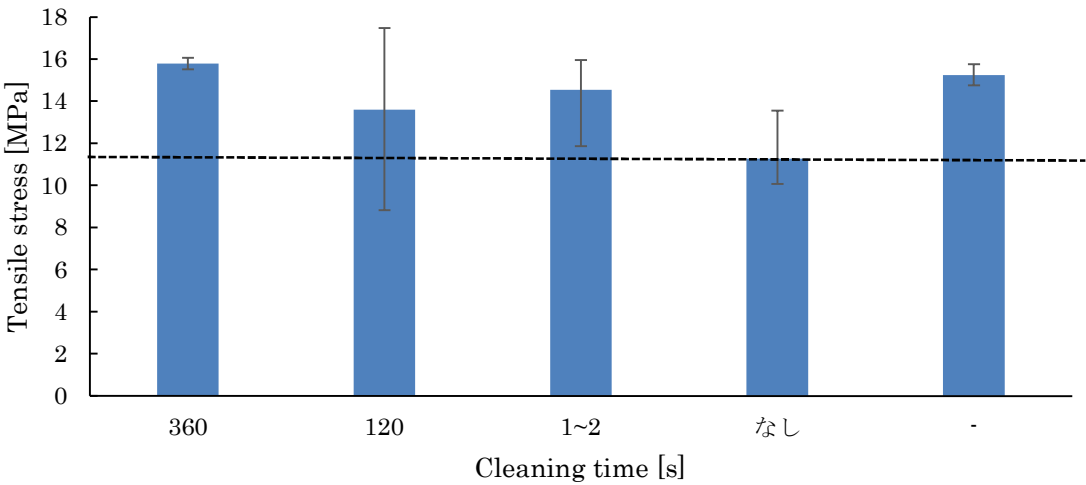


図31 AZ31による引張せん断試験の結果（KBM-403使用）

表10 AM60材の平均せん断応力と洗浄条件

	Product	Cleaning time / s	Average tensile stress / MPa
AM60-O	KBE-903	360	15.5
		120	12.1
		1~2	11.4
		0	7.5
	KBM-403	360	15.7
		120	12.9
		1~2	14.0
		0	11.3
	No processing	-	13.3

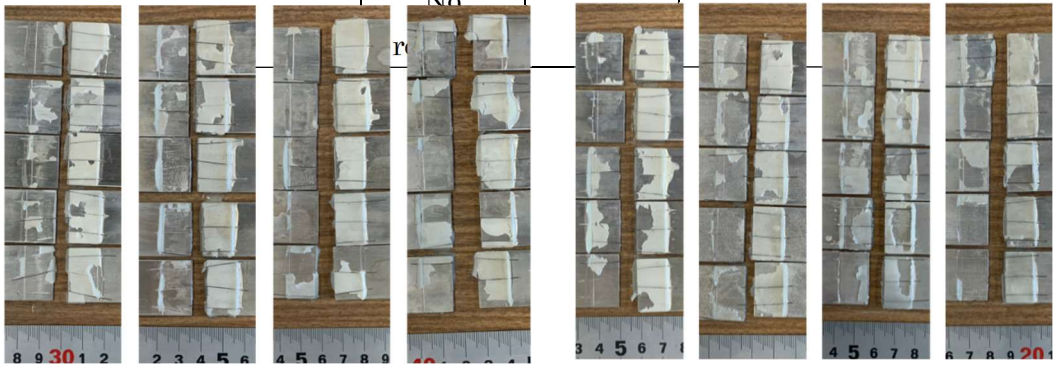
表10 AM60材の平均せん断応力

AM60のせん断試験において各条件において得られた引張せん断強さの平均を表10にまとめて示している。また図28，図29に示すようにせん断応力が最大になる条件は，KBM403およびKBM903のどちらを用いた場合でも，シランカップリング剤の洗浄時間が約360秒（5分程度）であり，超音波洗浄後には5分程度洗浄することによって最大の接合強度が得られたとが明らかになった。

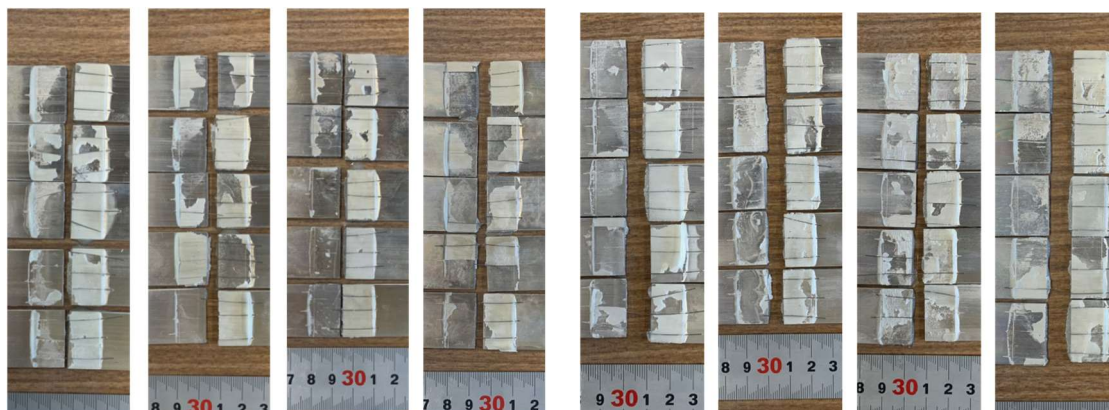
AZ31のせん断試験において各条件にお31に示すようにせん断応力が最大になる条件は、KBM403およびKBM903のどちらを用いた場合でも、シランカップリング剤の洗浄時間が約360秒（5分程度）であり、超音波洗浄後には5分程度洗浄することによって最大の接合強度が得られたとが明かになっている。しかしながら、AZ31材に関しては、シランカップリング処理がない場合でも15MPa程度の接合力を有しており、接着剤と酸化被膜との関係についてもさらに調査していく必要があることが明らかになった。図32および図33に実際の引張せん断試験後の試験片の様子を示しているが、結合強度の高いものは接着剤中の中での破壊が起こっているが、それ以外の場合は、接着面での破壊、凝集破壊、特殊凝集破壊が混在しているような複雑な破面様相を示していた。

表11 AZ31材の平均せん断応力と洗浄条件

	Product	Cleaning time / s	Average tensile stress / MPa
AZ31B-O	KBE-903	360	16.2
		120	14.8
		1~2	12.3
		0	8.9
	KBM-403	360	15.8
		120	13.6
		1~2	14.5
		0	11.3



(a) 360 s (b) 120 s (c) 1~2 s (d)なし (a)360 s (b) 120 s (c) 1~2 s (d)なし
図32 AM60せん断試験後の様子（KBM903）, AM60せん断試験後の様子（KBM403）



(a) 360 s (b) 120 s (c) 1-2 s (d) なし (a) 360 s (b) 120 s (c) 1-2 s (d) なし
図33 AM31せん断試験後の様子 (KBM903) , AZ31せん断試験後の様子 (KBM403)

⑤ 研究発表

- (1) 2020年9月3日～2020年9月6日 ICEIM2010 (10th International Conference on Engineering and Innovative Materials) に参加, 研究発表を2件行った.
- ・Feng Gengyan, Hisaki Watari, Mayumi Suzuki, Tshio Haga and Toru Shimizu, A Novel Direct Cladding Process of Magnesium and Aluminum alloys by using a horizontal twin roll caster, (一般講演, Best Poster Award を受賞)
 - ・Hisaki Watari, Change of Automotive Industry and Future Possibilities of Magnesium Alloys in Manufacturing Industries (基調講演)
- (2) 2020年11月14日～2020年11月15日 日本塑性加工学会, 第71回塑性加工連合講演会に参加し, 研究発表を2件行った.
- ・馮 庚琰, 渡利久規, 鈴木真由美, 羽賀俊雄, 横型双ロールキャスターを用いた Mg/Al 合金クラッド材の製造, 第71回塑性加工学会連合講演会
 - ・戸塚穂高, 関香苗, 渡利久規, 羽賀俊雄, Mg-12 mass%Al-0.2 mass%Mn 双ロール鋳造材の結晶組織に及ぼす注湯温度の影響, 第71回塑性加工学会連合講演会

⑥ 報告書の作成 (1年目)

2020年度分の実験データの整理を2021年2月20日～2021年3月15日の間に行った。また, 2021年3月16日～2021年3月31日の間には, 次年度の学会発表の計画を立案しながら, 2020年度分の実験結果および解析結果に基づく報告書の作成を行った。今年度は, ほぼ予定通りに事業は進行しているものの接合実験に関しては, もう少し実験サンプルが欲しいため, 今後, さらに追加してデータの検証精度を向上させていくことを考えている。しかしながら, 1年目を終わった時点で目標としていた最大接着強度25MPaに近い値を得ていることから1年目の方針をもとにして研究を進めて行くことで2年目の研究につながるものと考えている。

3. 事業の実施状況表

2021年度の事業予定および実施状況を表12に示す。(2021年より2021年10月末まで)

表12 2021年度の事業実施予定および結果

	上半期						下半期					
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
超軽量金属/樹脂積層材の成形性の評価および成形法の確立(2年目)												
①高強度Mg合金/樹脂/高強度Mg合金/三層積層作成実験	←-----→						-----→ (予定)					
	←-----→ (実施)											
②高強度Mg合金/樹脂/高強度Mg合金/三層積層材の機械的特性評価												
				←-----→			(予定)					
				←-----→			(実施)					
③高強度Mg合金/樹脂/高強度Mg合金/三層積層材の成形金型熱解析および温間成形解析												
				←-----→			(予定)					
				←-----→			(実施)					
④高強度Mg合金/樹脂/高強度Mg合金/三層積層材の温間成形実験												
				←-----→			-----→ (予定)					
				←-----→			(実施)					
研究発表									←-----→			
⑥報告書の作成(1年目)										←-----→		(予定)