

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 乙 第 7432 号
------	--------------

氏 名 古川 雄一

### 論文題目

アルミニウム合金の高温での界面現象を利用した高機能材料の  
創製  
(Development of High-performance Materials Using Interfacial  
Phenomena of Aluminum alloys at High temperatures)

### 論文審査担当者

主査	名古屋大学	工学研究科	教授	小橋 眞
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	原田 寛
委員	名古屋大学	工学研究科	准教授	高田 尚記
委員	産業技術総合研究所	磁性粉末冶金研究センター	チーム長	田村 卓也

## 論文審査の結果の要旨

古川雄一君提出の論文「アルミニウム合金の高温での界面現象を利用した高機能材料の創製」は、アルミニウム合金の溶解から凝固に至るプロセスにおける熱エネルギーの有効活用を検討した研究である。この研究では、一度の溶解エネルギーを大切に扱い、丁寧に凝固させ、凝固直後の温度領域においても高付加価値な析出物を出現させること、特別な添加物を付与せずに、濡れの悪い材料を複合化することで、リサイクル性の良い部分複合化した高機能材料を創出することなどに取り組んでいる。特に、アルミニウム合金溶湯が凝固する過程における溶湯表面と金型等の異種材料との界面における濡れや反応と凝固時の温度履歴の制御による省エネルギーで高機能材を生産するという観点で、生産現場で観察される様々な現象を扱っている。各章の概要は以下の通りである。

第 1 章は、本研究の背景と課題を明らかにするとともに、目的ならびに意義を述べている。

第 2 章は、アルミニウム合金溶湯とダイカスト金型表面の濡れの制御による生産性の向上と製品の高機能化の研究を示した。一般的な離型剤を用いて、湯流れ時は溶湯温度を下げず、圧力付与時にはキャビティ全体の溶湯へ圧力が効率よく伝播し、その後、溶湯が急速凝固する断熱と伝熱を両立する金型表面の実現を目指し繊維状カーボンとフラーレンの組み合わせの表面処理を施し、その後、アモルファスカーボンに変化する被膜（ナノカーボンハイブリッド被膜）を創出した。この被膜の活用により、品質不良低減に繋がり、部品製造時のCO<sub>2</sub>排出量の低減が可能となることを明らかにした。

第 3 章は、アルミニウム合金ダイカスト環境下における炭素や窒素の高温分解を活用した金型表面の炭化および窒化による高機能化の研究を示している。アルミニウム合金ダイカストの金型は溶損およびヒートクラック等の損耗が激しい。本研究において金型表面の物性、温度、圧力の環境を整えることで、金型を保護する条件があることを見出した。金型の使用環境下で金型寿命を向上する使い方をすることで、金型製作時のCO<sub>2</sub>排出量低減、金型不具合低減による製品良品率向上や可動率向上、金型修理の低減による生産時のCO<sub>2</sub>排出量低減を支えることが可能となった。ダイカスト金型表面の自己修復を実現可能とするため、ダイカスト環境下におけるインプロセス窒化および炭化の基礎条件を明らかにした。

第 4 章は、アルミニウム合金中の化学反応を活用した部分複合化による高機能化の研究結果を示している。必要最小限の部分を高機能化するために部分複合化検討を行い、リサイクル性や軽量特性を考慮し、アルミニウム合金材料と炭素の複合化について研究を行った。鋳造用の合金成分として主流であるケイ素に着目し、複合界面にSiCを形成する条件を熱力学計算と濡れの考察により明らかにした。アルミニウムへのケイ素含有および溶湯温度がアルミニウム/炭素繊維およびAl-Si合金/炭素繊維間の濡れや界面反応に及ぼす影響を分析と熱力学計算により明らかにした。

第 5 章は、アルミニウム合金溶湯の表面張力と凝固計算を活用した型レス鋳造法による高機能製品の作製の研究を示した。材料の選択枝の拡大による材料製造時のCO<sub>2</sub>排出原単位の低減と型レスによる製品製造時のCO<sub>2</sub>排出量低減、他の工法では作ることができない中空長尺複雑形状の高機能化による製品使用時のCO<sub>2</sub>排出量低減などライフサイクル全体に寄与する工法の検証を行い、溶湯を上げながら形状を付与して成形する型レス鋳造法を提案し、材料選択や製品形状の自由度を拡張させることによる部品の高機能化についての研究を示した。その結果、一般的には鋳造が困難とされる展伸材による部品作製が可能であることを明らかにした。また、形状自由度を活かし、自動車部品の骨格部分の高機能化やクラッシュボックスの高機能化に関する研究結果も示した。

第 6 章は、アルミニウム合金への鉄分混入を許容するAl<sub>15</sub>Si<sub>2</sub>(Fe, Mn)<sub>4</sub>の高温析出による材料製造時のCO<sub>2</sub>原単位の低減と熱処理レス化の研究を行った。新地金比率が高い、AC2Bや自動車ボデー用の高延性材について、再生材使用率を向上するために、再生材に含まれる不純物元素の代表例である鉄の混入の無害化を検討した。熱力学計算により、鋳造後の高温領域で鉄を含む塊状のAl<sub>15</sub>Si<sub>2</sub>(Fe, Mn)<sub>4</sub>を析出させることにより、鉄の懸念である伸びの減少や自然時効の影響を無害化できることを確認した。最初にAC2Bにおける400℃以上の高温領域でのAl-Si-Fe-Mn系の析出物について見出され、その後の高延性材料のアルミニウム合金ダイカストの応用研究で、同様の結果が得られ、高延性ダイカスト材料における鉄の許容量の拡張の可能性を確認した。

第 7 章においては、本論文の全体を総括し、得られた成果に関する結論ならびに今後の課題について述べた。

以上のように本論文では、各種素形材の中から、アルミニウム合金に着目し、LCA視点による地球温暖化ガスの排出量を低減するためのアイテムを検討した。一つはADC12アルミニウム合金の更なる省エネルギー利用であり、もう一つはアルミニウム合金の溶解凝固プロセスにおける熱エネルギーの有効活用である。これらから得られた結果は、アルミニウム合金を用いる製造現場での脱炭素化を実現するために重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である古川雄一君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。