

## TODAY

## キド・ワールドの創成を夢見て



大阪大学  
大学院 工学研究科  
教授 藤原 康文

「キド・ワールド」は私の造語であり、「希土類元素(レア・アース)がもたらす桃源郷」を意味する。希土類元素は、その産地が地域的に偏在することから、国策としての戦略的要素となっており、「省レア・アース」、「脱レア・アース」が昨今、流行のキーワードである。しかしながら、希土類元素が持つ素晴らしい機能は捨てがたく、現代社会において不可欠なものとなっている。たとえば、絶縁体に添加された希土類元素の発光特性は良く調べられており、蛍光灯やプラズマ・ディスプレイの蛍光体として広く用いられている。また、そのレーザー発振は光励起下で既に実現されており、イットリウム・アルミニウム・ガーネット(YAG)レーザーとして実用化されている。一方、金属に添加された希土類元素はネオジム(Nd)磁石に代表される強力な永久磁石を産みだし、電気自動車搭載モーターへの適用など、重要な要素技術となっている。このように絶縁体や金属に添加された希土類元素は既に実用化され、いろいろな分野で広く使われている。

では、「何を今更、希土類元素を研究対象とするのか」。たとえば、蛍光灯で用いられている代表的な青色蛍光体は、数種類の元素からなる、複雑な組成の母体にユウロピウム(Eu)が添加されたものである。「よくぞ、見つけましたね」と、その開発の過程を聞くと、「勘と経験が頼り」という答えが返ってくる。すなわち、これまでの希土類研究は経験に基づく試行錯誤の形態であり、希土類添加に関する精密制御(添加サイトや周辺局所構造)やエネルギー伝達機構(励起や緩和の機構)の理解による材料デザイン的思考が欠落しており、十分に希土類元素の特性を活用しているとは言い難いのが現状である。一方、希土類元素自身、優れた機能をいくつも併せ持つにも拘わらず、いずれも発光機能、磁気機能という独立した、単一の機能のみが蛍光体や永久磁石として実用化されている。いくつかの機能を融合した新しい応用、たとえば「光る磁石(発光機能を兼ね備えた新しいスピントロニ

クス)」はできないだろうか。材料デザイン的思考に基づいて、このようなことを真面目に考えようとすると、人類が手にすることが出来る最高品質の材料である「半導体を母体として、原子レベルで制御して添加された希土類元素を科学する」ことが必須であることに自然と気づく。

我々は希土類添加半導体を研究対象とし、希土類元素特有の発光機能や磁気機能の究極を追求することは勿論のこと、それらを融合した新機能性を開拓することを目指している。これまでに、産業界で広く用いられている有機金属気相エピタキシャル法により、エルビウム(Er)原子の最近接格子点に酸素(O)を2つ配置したEr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>発光中心を意図的に形成したEr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>共添加GaAs(Er発光強度が100倍程度、増大する)を取り上げ、それを発光層とした電流注入型1.5 μm帯Er発光ダイオード(LED)の室温動作に世界に先駆けて成功している。この発光ダイオードは、発光波長が今日の光情報通信帯域に位置するとともに、従来の発光ダイオードに比べて発光波長の温度依存性が100倍程度小さいという魅力的な特性を有している。また、最近では、やはり有機金属気相エピタキシャル法を用いて、3価のイオン状態で赤色発光領域に光学遷移を示すEuを添加したGaInを発光層に用いたLEDを作製し、室温・電流注入下で明瞭な赤色発光を観測することに成功している(図1)。この赤色LEDの発明により、同一材料による光の三原色発光(青・緑・赤)が揃うこととなり、半導体微細加工技術を生かしたモノリシック型高精度LEDディスプレイやLED照明などへの応用が期待されている。ある講演会で「希土類イオンを、たった3V程度の電池を繋いで光らせようとは考えもしなかった」と、希土類材料分野の専門家に声を掛けていただいた。これら一連の発明は希土類添加半導体を中心とした「キド・ワールド」の一例である。「キド・ワールド」は無数の可能性を秘めており、萌芽的な日本オリジナルの技術を開花させるためにも、産業界を巻き込んだ組織的な取り組みが強く求められる。



図1 Eu添加GaInを用いた赤色LED

## 「戦略的基盤技術高度化支援事業 ～ マグネシウム新成形技術の開発 ～」 成果報告

非鉄材料研究部 主席研究員 櫻田 隆

### 1. はじめに

マグネシウムは、資源量が多く、リサイクルが容易な、超軽量材料（密度  $1.8\text{g/cm}^3$  以下）として知られています。比強度と比剛性が高いため、重量削減率はスチールの60%、アルミニウムの25%に達します。また、振動吸収能や、低熱膨張率による寸法安定性に加え、切削性、耐くぼみ性、電磁遮蔽性等、優れた特性を有した合金もあることから、軽量化等へのニーズを背景に、近年、自動車部品やノートパソコンや携帯電話等のモバイル機器の筐体など、普及が進んでいます。

### 2. 研究開発の背景

マグネシウム合金は六方晶構造であるため、室温では底面がすべりやすく冷間加工性が悪いことから、主に熱間加工が用いられています。工業的には鋳造法の一つ、ダイカスト法とチクソモールディング法が主流ですが、延性に乏しく、機械的強度も不十分でした。また、共に溶融状態で成形しているため、組織制御の難しさや、湯流れ性の悪さ、そして成形板では厚みを薄くできない等、成形性の課題があり、軽量化による燃費向上を目的とした自動車等の構造部材への適用は遅れていました。

一方、高温での機械強度特性に優れた合金として、熊大マグネシウム合金が知られています。熊大マグネシウム合金は、マグネシウムに遷移金属と希土類金属を添加した合金で、長周期の積層構造を持つ事により、すぐれた強度特性が発現します。既存のチクソモールディング法やホットチャンバー法では、酸化物の巻き込み、気泡欠陥の取り込みから、同合金の潜在的能力を発現させることが困難であることがわかっています。

### 3. 開発の目的と製品ターゲット

本研究開発では、SF<sub>6</sub>等の防燃ガスを用いないピレット挿入方式による射出成形技術に、熊大マグネシウム合金を適用することにより、自動車等の構造部材をはじめ、幅広い分野へのマグネシウム合金の応用を目指すこととしました。具体的な製品ターゲットとして、複雑形状である、自動車用ターボチャージャのコンプレッサーホイールの成形に取り組みました。

ターボチャージャは、図1に示すようにコンプレッサーホイール、シャフト、タービンなどから構成されています。エンジンの吸気側に取り付けられたコンプレッサーホイールは、エンジンの排気ガスを受けたタービンと一緒に回転し、エンジンに圧縮空気を供給します。10～20万rpmの超高速で回転し、かつ、200℃近く温度上昇するため、耐久性、高温クリープ特性、高い寸法精度が要求されています。現行の製品は、鋳造アルミ合金を追加加工して製造していますが、高温で機械的強度に優れた熊大マグネシウム合金に置き換える事ができれば、慣性モーメントが低減しトルク立ち上がり時間が早くなるため、応答性能が上がるとともに、エンジンが

小型化できるため、燃費の向上も期待できます。

### 4. 実施体制

本研究開発は、(株)ユニオンパーツ工業、熊本大学、(NPO) 東大環境マネジメント工学センターが技術開発の中心となり、JRCMが技術開発の支援を行って進めました。

### 5. 熊大マグネシウム合金を用いた射出成形技術の開発

#### (1) 熊大マグネシウム合金の成形条件の基礎検討

熊大マグネシウム合金は、AZ91Dなどの従来のマグネシウム合金と比較して、射出成形の際、溶湯時の粘度が高く流速が遅いため、まず、試験片により成形条件の基礎検討を行いました。成形した試験片の表面の“ヒケ”、“湯ジワ”などの課題については、キャビティ内での溶湯の暴れをなるべく少なくする観点から、保圧条件やサックバック等を見直す事で改善を図りました。また、シミュレーションによる検討から、ゲート幅を広げる金型の改善により、流入速度を低減することで、内部鑄巣の低減ができることがわかりました。

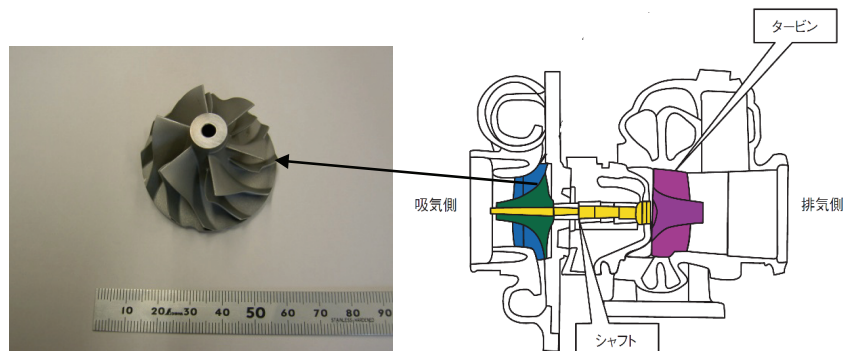


図1. コンプレッサーホイール(左)とターボチャージャの模式図(右)



(2) コンプレッサーホイールの成形条件の最適化

基礎検討で得られたデータをもとに、6枚羽（長翼3枚+短翼3枚）のコンプレッサーホイールの試作成形を行いました。羽の先端部の欠けなど新たな課題が顕在化したため、①ノズル径の違いによる影響、②保圧の違いによる影響、③サックバック設定による影響、④冷却時間の違いによる影響、⑤射出速度の違いによる影響、の5項目につき詳細な調査を行いました。その結果、保圧が低い場合、特に長翼に不良が発生することや、**図2**に示したように、シミュレーション解析から、羽の先端部では成形後の温度低下が最も早いことがわかりました。長翼は厚みが薄く、湯流れの観点からも充填が難しい箇所であるため、射出速度の影響を受けやすいことが考えられます。そこで対策として、ノズル径を小さくするとともに、射出条件の見直しを行いました。その結果、**図3**に示したように、射出速度を上げることによってショート不良が大幅に低減し、羽の寸法も目標値に近づき良品率が向上しました。溶湯の速度が上がった結果、羽の角部の充填率が向上したものと予想されます。また、保圧条件の改善により重量の向上も見られ、内部鑄巣も低減されたと考えられます。

(3) 12枚羽のコンプレッサーホイールの試作

上記では、6枚羽のコンプレッサーホイールの試作成形を行ってきましたが、市場では、さらに多数枚のものが要求されています。そこで、複雑形状な製品にも対応するため、12枚羽仕様の試作にもトライしました。金型設計においては、スライド金型の配置や、金型を開く際の機構にパーティングロック機構を配置するなどの工夫を加えています。**図4**に金型の写真を、**図5**に成形した12枚羽のコンプレッサーホイールの写真を示しました。成形精度や量産性に対してはまだ課題がありますが、長翼6枚+単翼

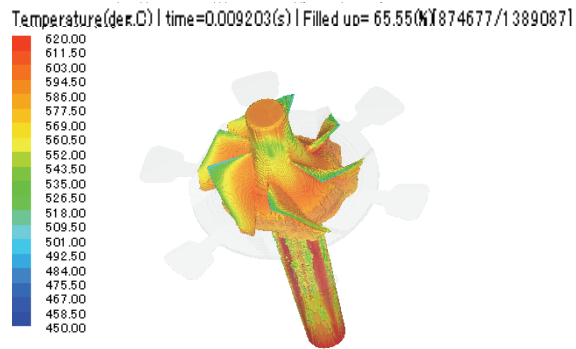


図2. コンプレッサーホイールの成形後の温度分布

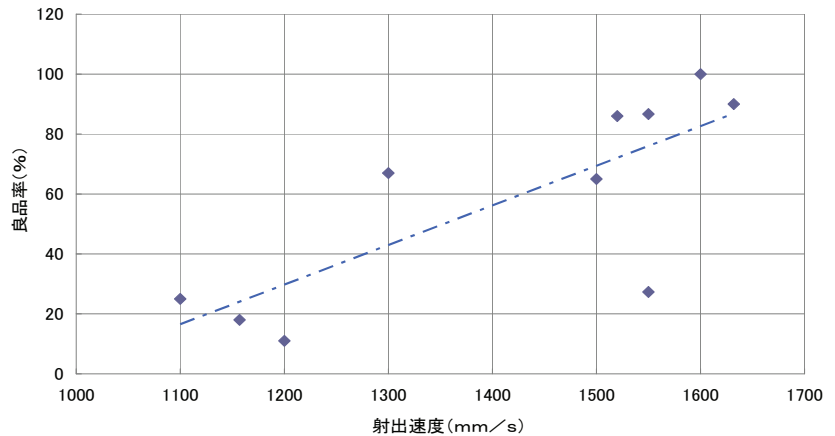


図3. 射出速度と良品率の関係

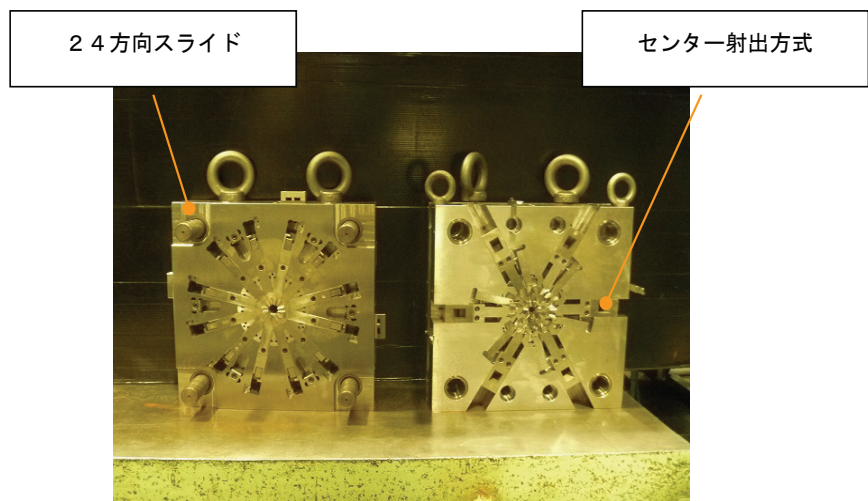


図4. 12枚羽のコンプレッサーホイール金型



図5. 12枚羽のコンプレッサーホイール成形試作品

6枚の複雑形状にも、ビレット挿入方式の射出成形技術で対応できることがわかりました。

#### (4) 成形時間短縮の検討

射出成形によるコンプレッサーホイールの製品化では、量産性や低コスト化の観点から、成形時間も重要になってきます。机上での材料溶解時間短縮の検討と、実際に成形を行って成形時間を確認することにより、サイクルタイムの短縮効果を見積もりました。

ビレットの溶解時間を短縮するには、充填前にビレットを保温しておく事が効果的であり、最大約28秒の時間短縮が図れることがわかりました。さらに、1ショット当りに使う材料の量を減らすことにより（HR化）7.6秒、冷却速度の改善により0.5秒、シリンダ後退時間の改善により0.5秒、の時間短縮が期待できることもわかりました。以上の改善により、通常約70秒かかっていた成形時間は、トータル33.4秒となり、目標である“サイクルタイム半分”の可能性を見出しました（図6）。

#### (5) 射出成形材の機械的強度

コンプレッサーホイールは、200℃の高温状態で高速で回転することから、高温下の優れた機械的特性や疲労強度が要求されます。熊大マグネシウム合金は、急速粉末凝固材や押し出し材において、高温での優れた機械的特性が確認されていますが、射出成形材の機械的強度の確認と、成分調整によるさらなる特性向上にも取り組みました。

これまでの研究により、Mg-Zn-Y系3元合金に第4元素を微量添加した押し出し成形において、クリープ特性、耐食性等が向上することがわかっています。そこで、成分調整

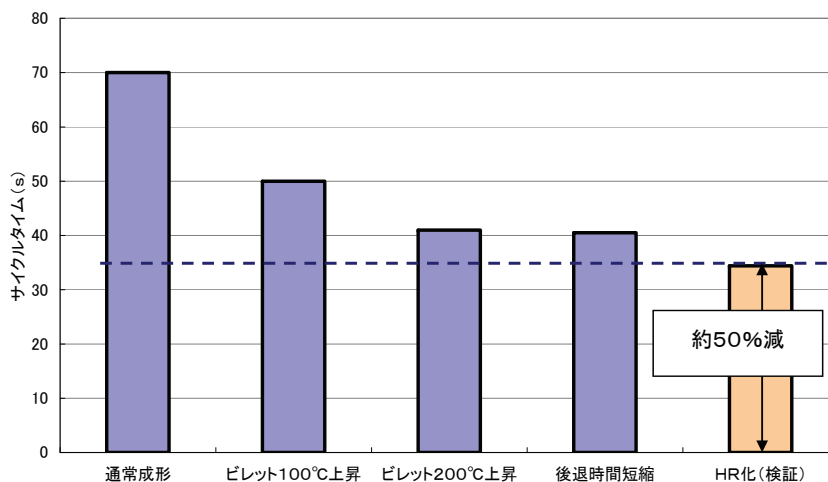


図6. サイクルタイム短縮化の検討

したMg-Zn-Gd-Y系4元合金ビレットを用いて試験片を成形し、機械的強度を調べました。

図7に、Mg-Zn-Gd-Y系4元合金まま材（開発合金D、E）の室温および高温における降伏強度を、実用ダイカスト合金と比較して示しました。室温において、商用マグネシウム合金より降伏強度が高いことが確認できました。特に高温下では強度低下が小さく、商用耐熱アルミニウム合金（ADC12）と比較しても、高強度が得られています。

以上、Mg-Zn-Gd-Y系4元合金ビレットを用いた射出成形材は、熱処理を行わずに、室温・高温下で、

商用耐熱アルミニウム合金と同等以上の降伏強度を持つことがわかりました。

#### 6. まとめ

成分調整を行ったMg-Zn-Gd-Y系4元合金ビレットを用いた射出成形により、12枚羽の複雑形状の自動車用ターボチャージャーのコンプレッサーホイールの成形に成功しました。同材料は、熱処理を行わずに、室温および高温下で、商用耐熱アルミニウム合金と同等以上の降伏強度を持っており、自動車等の構造部材をはじめ、今後、幅広い分野への応用が期待されます。

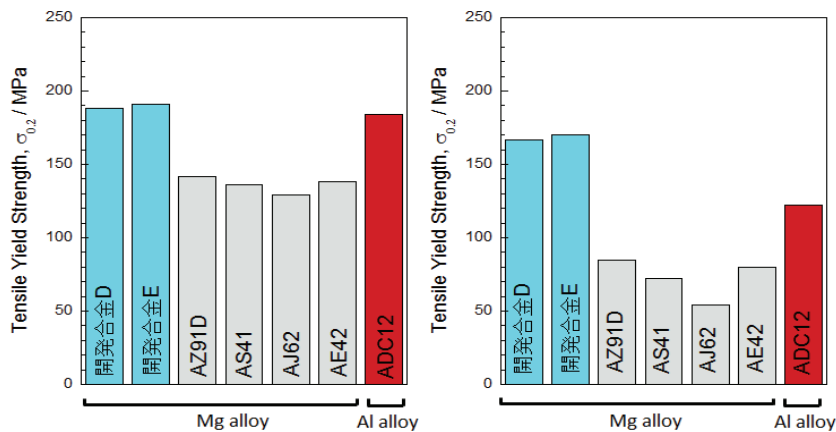


図7. 降伏強度の比較 (左：室温、右：473K)

The Japan Research and Development Center for Metals

JRCM NEWS / 第297号

内容に関するご意見、ご質問は JRCM 総務企画部までお寄せください。  
本書の内容を無断で複写・複製・転載することを禁じます。

発行 2011年7月1日

発行人 小紫正樹

発行所 財団法人 金属系材料研究開発センター

〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号 第11東洋海事ビル6階

TEL (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285

ホームページ URL <http://www.jrcm.or.jp/>

E-mail [jrcm@oak.ocn.ne.jp](mailto:jrcm@oak.ocn.ne.jp)