

## 研究成果

<p>テーマ：次世代耐熱Mg合金材料設計開発  サブテーマ：1-1 合金組成開発  小テーマ：展伸材用合金開発</p>
<p>サブテーマリーダー（所属、役職、氏名）：河村能人（熊本大学 教授）  研究従事者（所属、役職、氏名）：河村能人（熊本大学 教授）、山崎倫昭（熊本大学 准教授 兼 テクノ産業財団 雇用研究員）、金鍾鉉（テクノ産業財団 雇用研究員）、糸井貴臣（千葉大学 准教授）、森山寛樹・稲澤利春・勝亦敏樹・曾雌恭伍（千葉大学 大学院生）、板倉浩二・林孝雄・村上陽一・山田雄一・桜井寛（日産自動車株）、中田守（㈱神戸製鋼所）</p>
<p>1. 研究の概要、新規性及び目標</p> <p>①研究の概要</p> <p>LPSO構造を有するMg合金組成を対象に、機械的特性、耐食性、耐クリープ性を兼備える展伸材に適した合金の成分開発を行い、テーマ2-1及び2-2へ最終組成の提案を行った。</p> <p>本合金の特徴であるLPSO構造を生成する合金組成条件を明らかにし、生成四原則を提示するとともに、LPSO相生成メカニズムの解明のための熱力学的計算手法を確立し、Mg-TM-RE及びMg-Al-RE三元系における準安定 hcp 相の自由エネルギー計算とそれに基づく相分離挙動の熱力学的考察手法を示した。また、約30種のLPSO相形成合金種を実験的に発見・確認し、鑄造凝固時にLPSO相が形成される合金群をタイプI合金、鑄造凝固時にはLPSO相は形成されないがその後の溶体化-高温時効によりLPSO相が析出する合金をタイプII合金として分類可能であることを明らかにした。</p> <p>上記のLPSO相の生成四原則と、タイプI合金群とタイプII合金群の使い分けにより機械的性質と耐食性、耐クリープ性に優れた展伸材合金組成の開発を行った。</p> <p>②研究の独自性・新規性</p> <p>機械的特性、耐食性、耐クリープ性を兼備える展伸材の合金成分を開発するにあたり、LPSO構造を有するMg合金へ多様な特性（強度、延性、耐食性、耐クリープ性等）を付与する機能元素を見出し、またそれら機能元素の複合添加による共同効果と干渉作用について系統的に調査し、LPSO型Mg合金展伸材の成分設計の指導原理を得た。</p> <p>③研究の目標（フェーズ毎に数値目標等をあげ、具体的に）</p> <p>【フェーズI】</p> <p>低コストと量産性を旨として、現在の三元系合金に加え四元系合金を対象に高強度・高延性並びに高耐熱性を示す合金組成の探索を行うとともに、合金組成設計の指導原理の確立を試みる。</p> <p>【フェーズII】</p> <p>機械的特性、耐食性、耐クリープ性を兼備える展伸材の合金成分を小型鑄造装置・85t小型押出プレス機を用いた実験で行い、平成22年度末にテーマ2-1及び2-2へ最終最適成分を提示する。この際、合金組成設計の指導原理の確立を行う。最終最適成分の提示後は、テーマ2-1、2-2からのフィードバックされた実験データを基に、最終成分微調整を行う。</p>
<p>2. 研究の進め方及び進捗状況（目標と対比して）</p> <p>タイプI合金である<math>Mg_{96}Zn_2Y_2</math>(at%)合金に第四、第五元素として希土類元素(La, Ce, Pr, Sm, Nd, Gd)及び非希土類元素(Al, Ca, Si)を添加することで、展伸材の強度と延性の改善を図ったところ、LaとAlを同時添加した<math>Mg_{95.75}Zn_2Y_{1.9}La_{0.1}Al_{0.25}</math>合金が、優れた機械的特性と高い耐食性、耐クリープ性を兼備えることが明らかになった。図1にクリープ特性を、図2に腐食特性を示す。Laの添加がクリープ特性を改善し、AlとLaの複合添加が耐食性を改善することを明らかにした。なお、LPSO相を形成するために必須主要元素となるZn、Y以外の元素を特性付与する機能元素として扱い、これら機能元素の同時添加時の共同効果及び干渉作用を系統的に調べ、表1の通りまとめた。</p> <p>タイプII合金である<math>Mg_{97}Zn_1Gd_2</math>合金に第四元素としてAlをZnに置換添加していくことで、耐食性に優れた合金<math>Mg_{97}(Zn/Al)_1Gd_2</math>合金展伸材を開発した。</p>

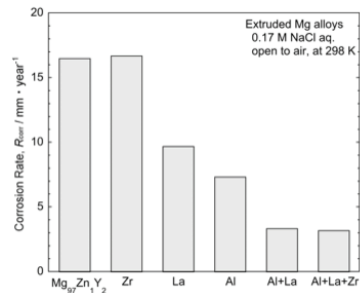
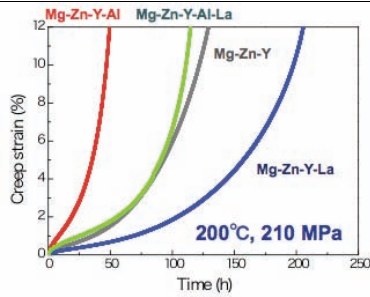


図1 Mg<sub>95</sub>Zn<sub>1</sub>Y<sub>2</sub>を基本組成としたMg-Zn-Y-La合金、Mg-Zn-Y-Al合金、Mg<sub>95.75</sub>Zn<sub>1.9</sub>La<sub>0.1</sub>Al<sub>0.25</sub>合金押出材のクリープ曲線

(説明:Laを添加することでクリープ特性は大幅に改善される。Alを添加するとクリープ特性は低下するものの、LaとAlの同時添加により、その特性低下は低減され、高いクリープ特性を維持する。)

図2 Mg<sub>97</sub>Zn<sub>1</sub>Y<sub>2</sub>を基本組成としたMg-Zn-Y-Zr合金、Mg-Zn-Y-La合金、Mg-Zn-Y-Al合金、Mg<sub>95.75</sub>Zn<sub>1.9</sub>La<sub>0.1</sub>Al<sub>0.25</sub>合金、Mg-Zn-Y-Al-La-Zr合金押出材の塩水浸漬時の腐食速度

(説明:Zr添加は、耐食性に影響しないが、La及びAlを単独添加すると耐食性は向上する。さらにAlとLaを複合添加することで大幅に耐食性が改善される。)

表1 LPSO型Mg-Zn-Y合金における機能元素の単独添加の効果、共同効果、干渉作用のまとめ

(説明:クリープ特性、耐食性といった実用化に必要な特性を改善する機能元素の複合添加に関する基礎的情報を取得した)

機能元素	単独添加での効果/影響	複合添加での効果/干渉	
		La	Zr
Al	・耐食性向上 ・クリープ特性低下	・耐食性大きく向上 ・クリープ特性は相殺	・Alと化合物化し、溶製中に沈殿 ・耐食性には影響無し
La	・クリープ特性向上 ・耐食性若干向上		・特に無し
Zr	・鋳造時の結晶粒微細化		

### 3. 主な成果

具体的な成果内容:

○LPSO相を生成する合金組成条件を生成四原則として提案した。

○高温で優れた機械的性質を示す展伸材用Mg<sub>95.75</sub>Zn<sub>1.9</sub>La<sub>0.1</sub>Al<sub>0.25</sub>及びMg-(Zn/Al)-Gd合金組成を見出した。

○混合希土類の添加により低コスト化と合金高性能化の両立が可能であることがわかった。

特許件数:16件 論文数:17件 口頭発表件数:120件

### 4. 研究成果に関する評価

#### ①国内外における水準との対比

小テーマ1-1-3による「LPSO相生成メカニズムの解明のための熱力学的計算手法を確立」を受けて、計算状態図を用いたLPSO形成組成の探索を行い、LPSO相を生成する合金組成条件を明らかにし、LPSO相の合金内における体積分率及び分散状態の制御を可能にした。

#### ②実用化に向けた波及効果

合金組成制御及び熱力学の観点からLPSO型高強度Mg合金設計指針の基礎を確立した。特にLPSO相形成のための必須元素以外の特性付与元素を機能元素として個々に評価するとともに、これら機能元素の同時添加時の共同効果及び干渉作用を明らかにする手法は、フェーズⅢで展開されるより高次の実用化研究の基礎的知見を与えるものである。

### 5. 残された課題と対応方針について

作製合金の品質向上と大型化への展開及び生産性向上を目指す実用化研究からフィードバックされた実験結果を参考に、低コスト化を念頭により最適な合金組成開発に継続して取り組む。

	JST負担分(千円)							地域負担分(千円)							合計
	18年度	19年度	20年度	21年度	22年度	23年度	小計	18年度	19年度	20年度	21年度	22年度	23年度	小計	
人件費	63	5,204	1,763	1,459	912	665	10,066	1,117	1,095	1,287	744	798	33	5,074	15,140
設備費	23,682	12,241	1,033	13,921	2,042	1,344	54,263	0	0	5,885	0	2,790	0	8,675	62,938
その他研究費 (消耗品費、材料費等)	4,759	1,432	1,975	2,071	1,479	1,133	12,849	1,964	14,670	8,374	7,568	13,005	23,350	68,931	81,780
旅費	221	331	191	294	168	55	1,260	83	294	577	0	0	82	1,036	2,296
その他	66	49	238	308	262	275	1,198	0	69	126	696	612	454	1,957	3,155
小計	28,791	19,257	5,200	18,053	4,863	3,472	79,636	3,164	16,128	16,249	9,008	17,205	23,919	85,673	165,309

代表的な設備名と仕様〔既存(事業開始前)の設備含む〕

JST負担による設備:マイクロ波試料前処理装置、ICP発光分光分析装置、135tダイカスト装置  
共焦点光学顕微鏡、X線回折装置、引張試験機等、小型真空溶解炉  
地域負担による設備:300g小型溶解鑄造装置、85t小型押出プレス機、DSC装置、TG-DTA装置等