



高熱伝導性マグネシウム合金板材 SMJ140

Excellent Thermal Conductive Magnesium Alloy Sheet “SMJ140”

城野 百合*
Yuri Jono

諏澤 和葉
Kazuha Suzawa

吉田 雄
Yu Yoshida

吉田 克仁
Katsuhito Yoshida

マグネシウム合金は実用金属中最軽量であり、その一つである当社製 AZ91 板は、軽量性に加えて、高い強度・耐食性を示し、近年需要が高い薄型ノート PC 筐体での実用化が進んでいる。一方で、情報機器業界では、IoT や AI 等を活用するため、5G の電子媒体への実装が進められているが、ハード面では電子機器の発熱が予想されており、これまで以上に電子機器の冷却が求められている。この対策として、材料面からは、材料の放熱性・熱伝導率の向上が挙げられる。今回開発したマグネシウム合金 SMJ140 の熱伝導率は 120~140 W/(m·K) を示しており、この数値は、AZ91 板の 61 W/(m·K) に対して、2 倍以上であり、汎用 Al 合金板材 A5052 に相当する。本論文では、軽量放熱板材として期待される高熱伝導性マグネシウム合金板材 SMJ140 を紹介する。

Magnesium alloys have the lowest density of all practical metals. Our AZ91 magnesium alloy sheets are used for thin and light laptop computer bodies due to their superior strength and corrosion resistance in addition to their light weight. In the electronics industry, 5G devices are being implemented to take advantage of IoT and AI, which can cause heat generation in electronic devices. One of the solutions to this is to improve the thermal conductivity and heat dissipation of the device bodies. In this paper, we introduce a new magnesium alloy sheet, SMJ140, having thermal conductivity in a range from 120 to 140 W/(m·K). These values are doubly higher than that of the AZ91 sheet. The heat dissipation of the SMJ140 is similar to that of a commercial aluminum alloy sheet A5052.

キーワード：マグネシウム合金、熱伝導率、軽量化

1. 緒言

マグネシウム（以下、Mg と記載）合金は、比重が 1.8 以下と、軽量素材で知られているアルミニウム（以下、Al と記載）の 2/3 の軽さを有している。近年、この軽量性の価値は、薄型ノート PC 筐体への Mg 合金の利用という面等で見出されている。当社マグネシウム合金開発部では、急冷凝固^{*1}技術と汎用 Mg 合金^{*2}AZ91D を組み合わせることで、軽量性に加えて高強度・高耐食性を有する AZ91 板の製造を行っており、薄型ノート PC 筐体として実用化を進めている。

一方で、近年の新型コロナウイルス感染症の拡大に伴う社会情勢の大きな変化は、個人や社会の基盤を大きく変え、個人のコミュニケーションから産業界を含めた社会のあらゆる行動に対してデジタル化やオンライン化を推し進めている。デジタル化をけん引する IoT や AI 等の技術、さらにそれを加速する第 5 世代移動通信システム（以下、5G と記載）の普及にはハード面の整備も必須で、個人や産業を含めて社会全体がこれらを活用の上、新たな価値を創出し社会変革することが求められている⁽¹⁾。これらの社会変革の実現のためのハードルの一つとして、インフラ整備の面では、電子機器の発熱問題が挙げられる⁽²⁾。電子機器部品で重要な CPU の素材である半導体は集積度が増加し、熱源の集中化が進んでいるが、IoT や 5G の活用により消費電力が増大し、局所的な大きな発熱が予想される⁽²⁾。それに加えて、薄型ノート PC やスマートフォンの筐体を例にとつて

も、近年の電子機器筐体はその容積が減少し小型化してきており、これらを合わせた結果、電子機器の動作許容範囲以上の発熱が予想され、これまで以上に電子機器の冷却技術が重要となる⁽²⁾。部品温度を下げる方法の一つとして、材料特性の観点から熱伝導率の高い材料を使用し、熱を筐体から周囲へ拡散させる方法がある⁽³⁾。

Mg 合金の軽量性に加えて、高熱伝導率を組み合わせることで、この電子機器の熱問題を解決できる可能性がある。本論文では、当社での高熱伝導性 Mg 合金開発の取り組み及び開発した次世代の軽量放熱 Mg 合金板材「SMJ140」の特長を報告する。

2. 高熱伝導性 Mg 合金開発の取り組み

2-1 合金開発での課題

高熱伝導性合金の開発には、添加元素を少なくし、純物質に近づけることが重要であるが、我々は、高熱伝導性 Mg 合金開発に取り組む上で、熱伝導率以外に耐食性を重視した。これは、当社製 AZ91 板を含めて汎用 Mg 合金の成り立ちに関係する。Mg は、イオン化傾向が高く、不動態化しにくいいため、腐食しやすい。特に、鉄（以下、Fe と記載）は、純 Mg に 170ppm 以上混入すると耐食性を大幅に低下させる⁽⁴⁾。Mg の精錬では還元剤としてフェロシリコン (FeSi) を使用することに加えて、Mg 合金の溶解では一般に Fe 製坩堝を使用するため、Fe が溶湯中に溶出す

る⁽⁵⁾。このため、Feは不可避の不純物としてMg合金中に存在する。そのため、Alとマンガン（以下、Mnと記載）を複合添加し、Al-Mn-Fe化合物を生成し、坩堝の底に沈降させることで、Feを除去する。上記の方法でFeを制御する場合、Al量が3wt%未満では低耐食性を示す。そのため、AZ31B、AM60B、AZ91D等の汎用Mg合金の多くは、Al量を3wt%以上含む。このような方法で、合金成分設計された汎用Mg合金は、放熱需要に対して熱伝導率が低い。図1に純Mg⁽⁵⁾、汎用Mg合金^{(5)、(6)}、熱伝導性Mg合金^{(7)、(8)}、Mg-Li合金板、及び当社製AZ91板の熱伝導率を示す。なお、Mg-Li合金板は、Mg合金中で最も密度が低い材料で、薄型ノートPC筐体に使用されているため、比較として加えた。純Mgの熱伝導率が155 W/(m・K)に対して、汎用Mg合金の多くは、100 W/(m・K)未満であり、当社製AZ91板でも、熱伝導率が61 W/(m・K)である。この汎用Mg合金の著しい熱伝導率の低下は、Alの添加が原因である。Alは、Mg-1.5wt%Alで熱伝導率が100 W/(m・K)と、微量添加でも熱伝導率を大幅に低下させる⁽⁹⁾。これは、Mg-Al系合金は、晶出物としてMg₁₇Al₁₂化合物を形成するが、この化合物は、高温で容易にα-Mg母相へ固溶し、α-Mg母相中のAl量が增大するためである⁽⁹⁾。そのため、熱伝導性Mg合金では、Alの添加量を抑えたり、母相へAlが固溶しない高融点化合物が生成したりする合金系で、100 W/(m・K)を超える熱伝導性Mg合金の開発が進められている^{(7)~(9)}。

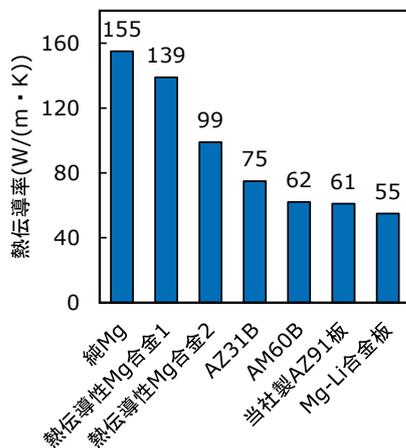


図1 純Mg及びMg合金の熱伝導率

2-2 合金開発の前提と考え方

当社では、熱伝導性Mg合金板のプレス成形での製品化を想定しているため、Alの添加量を抑える方針で開発に着手したが、前述の通りにAl添加量が3wt%未満になるため、耐食性の低下が懸念された。そこで、熱伝導性Mg合金板の合金設計を行う前に、まずは、製造上の不可避不純

物としてのFeとAlに関して調査を実施した。当社のMg合金板製造では、Mg合金を溶解し、連続鋳造を行う工程があり、この溶解作業中に、Fe製坩堝からFeの溶出が確認された。また、溶湯の燃焼防止でベリリウム（以下、Beと記載）を添加するが、Al-2.5wt%Be母合金の形で添加するため、Alが混入することがわかった。写真1にFeを139 ppm、Alを0.19wt%含んだ場合のMg合金の塩水噴霧試験結果を示す。表面全体に白い腐食生成物が多数観察され、耐食性は非常に悪く、課題となることがわかった。

以上を踏まえて、当社での熱伝導性Mg合金板の開発では、当社の急冷凝固技術を活かすことができ、不可避不純物としてFeとAlを含むことを前提に、市販のMg合金板と同等の耐食性を示し、かつ、熱伝導率が120 W/(m・K)以上を示すような合金成分設計に取り組み、軽量で高熱伝導率を示すマグネシウム合金板材SMJ140を開発した。



写真1 Fe量139ppm、Al量0.19wt%を含むMg合金の96時間塩水噴霧試験後外観

3. 開発材SMJ140の特長

3-1 製造方法及び諸特性

開発した高熱伝導性Mg合金板材SMJ140は、123~142 W/(m・K)の熱伝導率及び良好な耐食性を示す合金成分からなり、急冷凝固技術の一つである双ロール鋳造法で板が作製され、その後の圧延加工で、写真2に示すような薄

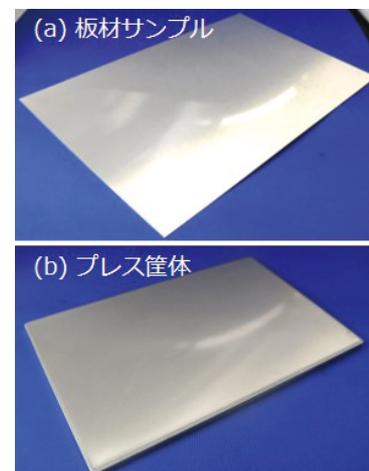


写真2 SMJ140の (a) 板材サンプル及び (b) プレス筐体

板材やプレス成形体として提供可能である。SMJ140の特性を当社製AZ91板と合わせて表1に示す。本開発材の特徴は、延性、熱伝導率が当社製AZ91板より高く、密度が小さいことである。熱伝導率に言及すると、当社製AZ91板比で2倍以上の値を示し、これは汎用Al合金板材のA5052に匹敵する。なお、SMJ140の熱伝導率は、前章でも説明したように、製造時の不可避不純物の一つであるAl含有量に影響され、Alの制御可能な含有量の範囲では、SMJ140の熱伝導率は、123~142 W/(m・K)の範囲となる。

表1 SMJ140及びAZ91板の特性値

	密度 (g/cm ³)	引張 強度 (MPa)	降伏 応力 (MPa)	伸び (%)	ヤング 率 (GPa)	熱伝導率 (W/(m・K))
開発材 SMJ140	1.76	255	144	31	45	123~142
当社製 AZ91板	1.81	330	253	8	45	61

3-2 放熱性

電子機器用の筐体を模擬した放熱性を評価するため、図2に示すように、板厚0.6 mm×圧延方向200 mm×板幅方向300 mmの板材の中央に、50 mm×50 mmサイズの熱源を放熱グリス (6.5 W/(m・K)) を用いて貼り付け、熱源出力10 W、周囲温度は28℃、自然対流の条件で、熱源温度及び赤外線サーモグラフィカメラで板表面温度を測定した。試料には、SMJ140と、比較のために、当社製AZ91板、市販Mg合金の他社板材2種 (AZ31板、Mg-Li合金板)、及びA5052の5種類の板材を用いた。板材の表



図2 電子機器用の筐体を模擬した放熱性評価試験概要図

面には黒体スプレーを塗布して放射率を0.94一定として測定した。表2に各板材の熱伝導率を示す。ここでの熱拡散率は、アドバンス理工(株)製の光交流法熱拡散率測定装置 LaserPITを用いて測定し、熱伝導率は、熱拡散率×比熱容量×密度から算出した。熱伝導率の高い順から、A5052、SMJ140、他社製AZ31板、当社製AZ91板、他社製Mg-Li合金板である。図3に5種類の板材における熱源温度の経時変化を示す。熱源温度は、測定開始から急激に上昇するが、数分後一定の値 (熱源の最大温度と呼称) を示すようになる。この熱源の最大温度は材料によって異なり、SMJ140はAZ91板材や他社板材より低い値を示し、熱源の温度低減効果が認められ、その効果はA5052と同等であることがわかった。図4に図3での熱源が最大温度に到達したときの5種類の板表面の温度分布、図5に図4中の赤線で示す分析位置から得られた最高温度、最低温度、及び最高温度と最低温度の温度差を示す。SMJ140やA5052の熱伝導率の高い材料は、最高到達温度及び最高温度と最低温度の温度差が低く、板全体に熱が拡散することで放熱効果を発揮していることがわかる。すなわち、熱源直上のホットスポットを低減させる効果がある。したがって、SMJ140は、放熱板材として電子機器筐体への適用が見込める。

表2 放熱性測定試料の熱伝導率

合金	熱伝導率実測値 (W/(m・K))
SMJ140	123
A5052	140
AZ31板	73
AZ91板	61
Mg-Li合金板	55

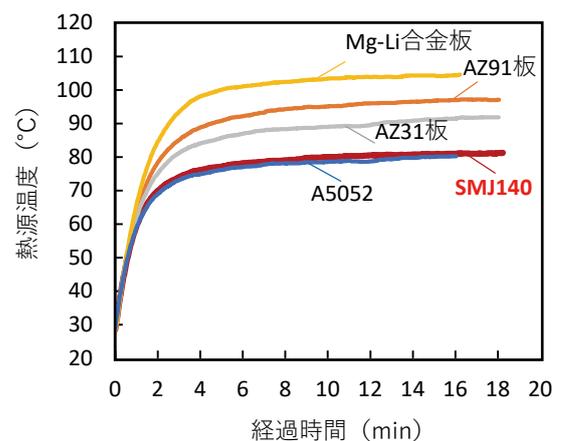


図3 熱源温度の経時変化

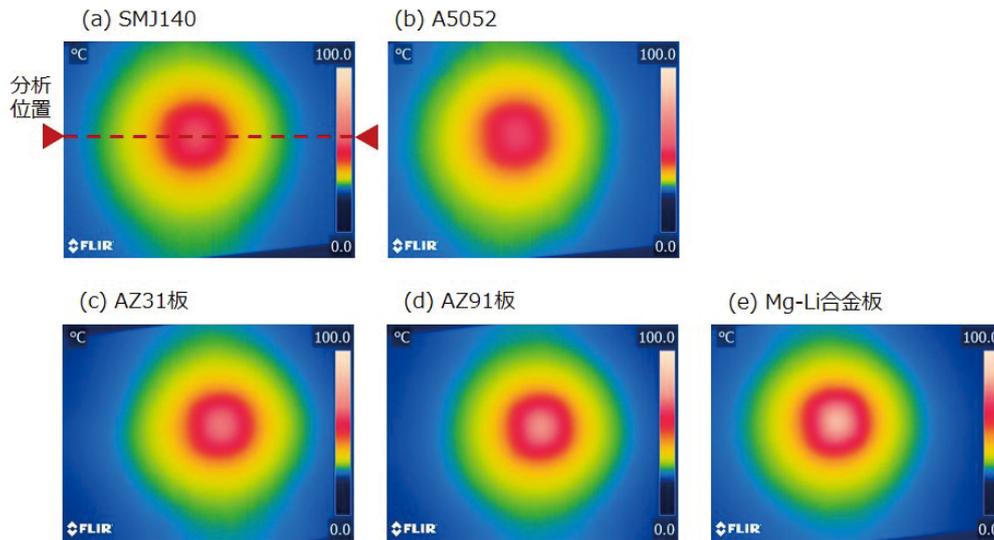


図4 熱源が最大温度に到達したときの板表面の温度分布

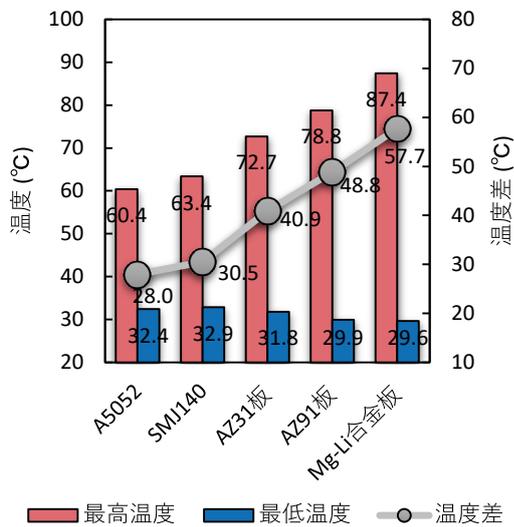


図5 到達最高、最低温度、及び温度差

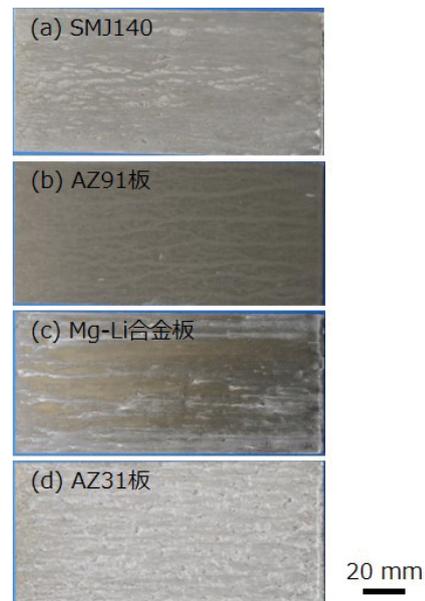


写真3 96時間塩水噴霧試験後外観

3-3 耐食性・塗装性

耐食性を評価するために、無垢材の96時間の塩水噴霧試験 (JIS Z 2371、JIS H 0541 : 5% NaCl、35°C) を行った。試料は、SMJ140、当社製AZ91板、市販Mg合金の他社板材2種 (AZ31板、Mg-Li合金板) の4種類である。各板材について、写真3に塩水噴霧試験後の外観を示す。SMJ140は、表面に白状の腐食生成物が観察されるが、他社材と同等以下の外観であり、孔食は見られなかった。この腐食生成物をクロム酸塩水溶液で除去後に板の重量減少量を測定し、腐食速度を求めた結果を、図6に示す。SMJ140は、他社板材と比較しても遜色ない耐食性を示し、当社製AZ91板の2倍程度の腐食速度で留まっている。

続いて、塗装性を評価するために、当社製AZ91板と同様の吹付や電着塗装をSMJ140に施した。写真4にプライ

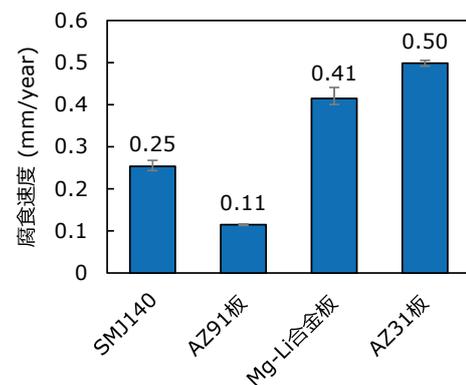


図6 96時間塩水噴霧試験結果より算出したSMJ140、AZ91板、AZ31板、及びMg-Li合金板の腐食速度

マーとアクリル樹脂塗料にて2コート2ベークで吹付塗装したプレス成形体の外観を示す。外観上吹付塗装はAZ91と同等に可能であり、電着塗装も可能であった。さらに、SMJ140の塗装材に対して96時間の塩水噴霧試験による耐食性を調べるとともに、塗装密着性を調べるため、72時間のヒートサイクル試験、温水浸漬試験、人工汗試験（JIS L 0848：酸性液、アルカリ性液）後の二次密着性をクロスカット法（JIS K 5600-5-6）により評価した。結果の一例である酸性人工汗試験後のクロスカットサンプル外観を写真5に示すが、剥離等はなく、いずれの試験も良好で、SMJ140は、電子機器用筐体として十分な耐食性・塗装性を有することがわかった。

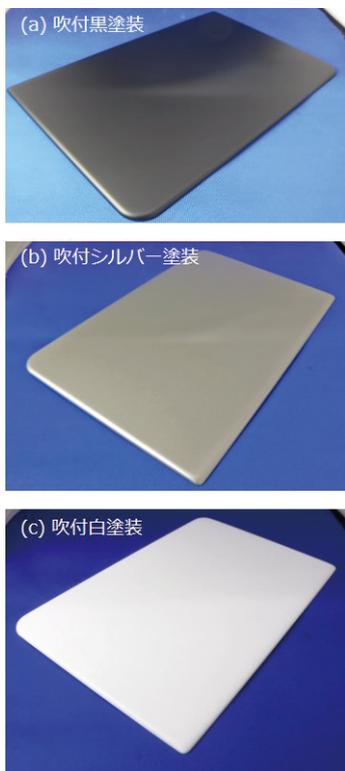


写真4 SMJ140の吹付塗装したプレス成形体の外観

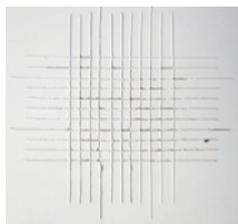


写真5 酸性人工汗試験後クロスカット試験したサンプル外観

4. 結 言

市販Mg合金と比べて、高い熱伝導性と良好な耐食性・塗装性を兼ね備えた高熱伝導性Mg合金SMJ140を開発した。本開発品は、軽量化に加えて今後放熱性能が必要となるPC筐体等の電子機器用の軽量放熱板材として期待できる。

5. 謝 辞

本開発では、SMJ140の組織評価に、国立大学法人長岡技術科学大学 鎌土重晴学長、中田大貴講師のご協力をいただきました。心から感謝申し上げます。

用語集

※1 急冷凝固

急冷凝固とは、熔融状態の金属を急冷し固体状態にすることである。急冷凝固することで、自然冷却する場合と比べて引張特性等の特性面や外観等が良好となる。

※2 汎用Mg合金

Mg合金の中でも、一般的に流通している合金を指し、AZ31B、AM60B、AZ91Dが挙げられる。

・SMJは住友電気工業㈱の商標です。

参 考 文 献

- (1) 総務省 編、情報通信白書、令和2年版、508p. <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r02/pdf/02honpen.pdf> (参照 2021-04-12) (2020)
- (2) 国峰尚樹、「[熱設計を基軸とした危険部品の判別と熱対策の選定]～部品タイプに応じた適切な温度管理～」、KOA(株)、技術セミナー資料 CEATEC JAPAN 2017. https://www.koaglobal.com/-/media/Files/KOA_Global/technology/seminar_doc/CEATEC2017session1forWEB.pdf?la=ja-JP&hash=71B036D40BF29C1EDEBB94E6C893610F (参照 2021-04-05)
- (3) 国峰尚樹、藤田哲也、鳳康宏、「今日からモノ知りシリーズトコトコやさしい熱設計の本」、初版、日刊工業新聞社、158p. (2012)
- (4) Guang-Ling Song, Corrosion of magnesium alloys, © Woodhead Publishing Limited, 640p. (2011)
- (5) 日本マグネシウム協会 編、マグネシウム技術便覧、第1版、カロス出版(株)、490p. (2000)
- (6) 一般社団法人 日本ダイカスト協会 編、「ダイカストって何?—DIE CASTING—」、初版、34p. http://diecasting.or.jp/diecast/pdf/book/die_casting1.pdf (参照 2021-03-22) (2003)
- (7) POSCO、「マグネシウム合金材およびその製造方法」、特許第6799618号 (2020-12-16)
- (8) 家永裕一、「耐熱Mg-Al-Ca 鋳造合金の3次元網目状化合物を持つ高熱伝導組織」、第134回春期大会講演大会概要集、熊本大学、2018-5-25/27、一般社団法人 軽金属学会、p. 99-100 (2018)
- (9) Shubo, Li; Xinyu, Yang; Jiangtao, Hou; Wenbo, Du. A review on thermal conductivity of magnesium and its alloys. J. Magnes. Alloy., 8, 1, p. 78-90 (2020)

執 筆 者

城野 百合* : マグネシウム合金開発部 主査
博士 (工学)



諏澤 和葉 : マグネシウム合金開発部
博士 (工学)



吉田 雄 : マグネシウム合金開発部 主席
博士 (工学)



吉田 克仁 : マグネシウム合金開発部 主幹
Ph.D.



*主執筆者