

5 次世代回路基板に関する調査研究

森 勝, 園田 司, 中川和治, 西羅正芳, 山中啓市

1 目 的

パソコン、携帯電話、ビデオ、デジタルカメラなど幅広い電子機器に使われているプリント回路板は、絶縁体である樹脂と銅薄膜が接着され、多数の電子部品が搭載されている。回路基板には大きく分けて、硬く曲がらないリジッド基板と曲げることでできるフレキシブル基板の2種類がある。現在、前者はガラス繊維で補強されたエポキシ樹脂、後者はポリイミド樹脂を用いている。携帯電話やデジタルカメラを始めとするモバイル機器に代表されるように電子機器が小型になるにつれて、エポキシ樹脂板よりもフレキシブルなポリイミド樹脂板の需要が増大している。

プリント回路板の高密度実装が進むにつれて、ポリイミド樹脂の高吸水率、吸湿寸法安定性が問題となっている。さらに、次世代の電子機器は、大容量・高速処理が必要であるが、ポリイミド樹脂の高周波領域での電気特性は良くない。その対応策として、吸湿性、高周波特性、耐熱性に優れた液晶ポリマー(LCP)が次世代の回路基板材料として期待されている¹⁾。基板に回路を作成するためには表面に銅箔を積層するか、銅めっきを施すことが必要である。しかし、LCPは疎水性のため銅との密着性が悪い。LCPの密着性を高める方法として、サンドブラスト処理、クロム酸混液処理、コロナ放電処理などが提案されているが、十分な成果が得られていない。回路パターン形成法は大きく分けて、サブトラクティブ法、セミアディティブ法およびフルアディティブ法の3種類がある。サブトラクティブ法では、銅箔を張った基板(銅張積層板)を用い、エッチングによる回路パターンの形成を行う。これとは逆にセミアディティブ法およびフルアディティブ法では、銅めっきで直接配線を形成する。3つの方法ともそれぞれ長所と短所があるが、微細配線を形成するためには、セミアディティブ法あるいはフルアディティブ法による技術の確立が必要と考えられている。

本研究では、LCPフィルムにセミアディティブ法を適用するために、プラズマ処理によるLCPフィルムと無電解銅めっきとの密着力の向上について検討した。

2 実験方法

2.1 プラズマ処理

LCPフィルムには株式会社ニチケイ製ベクスターOC(厚さ50 μ m)を用いた。図1にその構造式を示す。プラズマ処理は、サムコ(株)製のBP-1型プラズマ処理装置を用いた。フィルムをサンプルホルダにはさみ、平行平板型の電極の上に置いて、13.56MHzの高周波電界を印可した。プラズマガスには窒素を用い、流量20ml/min、照射時間は1分間とし、出力を30W~150Wの間で変化させた。

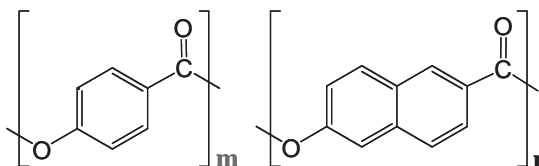


図1 ベクスターOCの分子構造

2.2 銅めっき

プラズマ処理したLCPフィルムを奥野製薬工業(株)製プリント回路基板用キャタリスト(OPC-80MキャタリストM)、プリント基板用活性化剤(OPC-500アクセレーターMX)、スルーホール用無電解めっき液(OPC-750無電解めっき液)に順番に浸漬して無電解めっきを行った。その後、はく離試験を行うために、電気めっきで銅めっき皮膜を約20 μ mまで厚くした。電気めっき液は、硫酸銅、硫酸、塩化ナトリウムに奥野製薬工業(株)製高性能プリント配線板用硫酸銅めっき添加剤(トッフルチナSF)を加えて作製した。

2.3 評価

プラズマ照射後のLCP表面の変化は、協和界面科学(株)製接触角測定装置、アルバック・ファイ(株)製5500MT型X線光電子分光分析装置(XPS)、(株)日立製作所製S-800走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて評価した。銅めっきの密着強度は、(株)島津製作所製オートグラフAG-1000Dを使用し、引張速度50mm/minで180°はく離試験により求めた。

3 結果と考察

3.1 プラズマ処理によるLCPフィルム表面の変化

図2に、30および100Wでプラズマ処理したLCPフィルム

ムのSEM写真を示す。未処理のフィルム表面は、ほぼ平滑であったが、30Wで1分間プラズマ処理すると、縞状の凹凸が観測され、100Wにすると縞状の凹凸がより大きくなった。これはプラズマによるエッチングのためであり、出力が大きくなるにつれて凹凸も大きくなった。

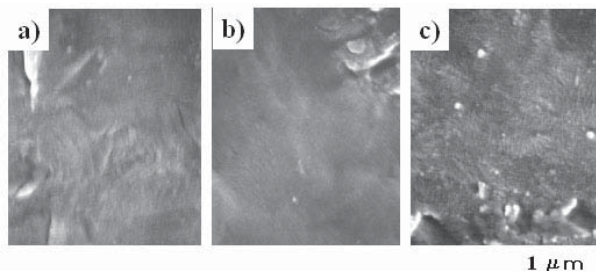


図2 プラズマ処理したLCPフィルム表面のSEM写真
(a) 未処理, (b) プラズマ出力 30 W, (c) プラズマ出力 100 W

表1に、異なる出力でプラズマ処理したLCPフィルム表面に対する水の接触角、XPSによる元素組成およびめっき皮膜のはく離強度を示す。LCPフィルム表面は、プラズマ処理することにより、水の接触角が83°から大きく低下しており、疎水性から親水性へと変化したことがわかる。プラズマ出力が大きいほど、XPS測定によるLCPフィルム表面のO, Nの割合が増加し、接触角が減少した。このことからプラズマ処理によりLCPフィルム表面に極性を持つ酸素、含窒素官能基が導入され、親水性が増加したと考えられる。未処理LCPフィルムではめっき皮膜が形成されなかったが、プラズマ処理したLCPフィルムではめっき皮膜が形成された。めっき皮膜のはく離強度はプラズマ出力に依存し150Wで処理したとき2.4 N/cmに達した。LCPフィルムと銅との密着にはLCPフィルム表面に導入された親水性官能基および凹凸によるアンカー効果が関係していると考えられる^{2,3)}。

表1 窒素プラズマ処理したLCPフィルムの接触角、XPS元素濃度およびめっき皮膜のはく離強度

プラズマ出力 (W)	接触角 (°)	XPS元素濃度 (%)			はく離強度 (N/cm)
		C	O	N	
未処理	83.0	87.2	12.2	0.6	—
30	30.5	74.4	20.7	4.9	0.8
50	29.5	73.9	20.5	5.6	0.8
100	9.2	64.9	28.4	6.7	2.3
150	9.1	69.1	24.6	6.3	2.4

図3に、無電解めっきしたLCPフィルム表面および電

気銅めっきした銅/LCPフィルムのはく離面のSEM写真を示す。無電解銅めっきしたLCPフィルムには緻密なめっき皮膜が形成されていることがわかる(図3a)。はく離試験後のLCPフィルム側界面はめっきする前と大きく異なり、層状に破壊されていることが観察された(図3b)。さらに、銅めっき皮膜側界面には引き剥がされたLCPフィルムが付着しており(図3c)、LCPフィルムの凝集破壊が起きていることが確認された。

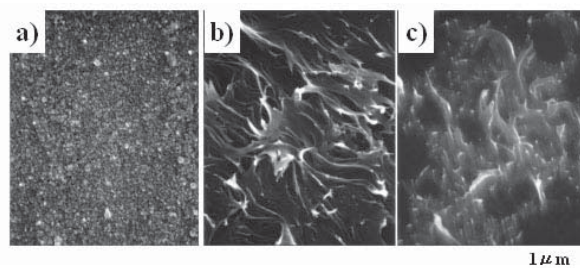


図3 プラズマ処理後、無電解銅めっきしたLCPフィルムのSEM写真 (a)無電解めっきしたLCPフィルム表面、(b)はく離試験後のLCPフィルム側界面、(c)はく離試験後の銅めっき皮膜側界面

4 結 論

LCPフィルムを窒素プラズマ処理することにより、無電解銅めっき皮膜との密着性を向上させることができた。さらに、プラズマ出力が大きいほど密着力も増大することを明らかにした。密着強度の増大には、LCPフィルム表面の親水性官能基の増加および凹凸によるアンカー効果が寄与していると考えられる。以上のことから、LCPフィルムと銅めっき皮膜との密着力を改善する手段としてプラズマ処理が有効であることがわかった。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、ご協力をいただきました神戸大学大学院自然科学研究科 上田裕清教授、浅野友晴学部生に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 田中善喜, 小野寺 稔, エレクトロニクス実装学会誌, 2, (1999), 84.
- 2) 梅原弘次, 新保一樹, 斉藤 徹, 有泉昇次, 小早川絃一, 佐藤祐一, エレクトロニクス実装学会誌, 7, (2004), 328.
- 3) J. Ge, M. P. K. Turunen, J. K. Kivilahti, J. Polym. Sci: Part B: Polym Phys., 41, (2003), 623.

(文責 森 勝)

(校閲 山中啓市)

6 麴菌を利用した小麦グルテンの機能化技術に関する調査研究

大橋智子, 原田 修, 脇田義久, 桑田 実, 一森和之

1 目 的

グルテンを含めた多くの植物性タンパク質は、特に通常の食品 pH 範囲である弱酸性において、可溶性、分散性、乳化性などの機能が乏しいため多くの食品、例えばジュース、ドレッシング、マヨネーズ等への使用が制限されている。さらに小麦グルテンはグルタミンが多いため天然調味料の原料として最適でありながら、上記理由により取り扱いが難しく普及の妨げとなっている。しかしながら、脱アミド化酵素で処理された脱アミド化グルテンは可溶性、分散性が増大し、これまで適さなかったこれらの食品への使用が可能となり、また天然調味料の製造も容易になる。本研究では小麦グルテンの水に対する可溶性を向上させるための脱アミド化酵素を遺伝子組換え麴菌より産出させることを最終目標とし、今回はターゲットとなる遺伝子の検索およびその最適な組み換え条件を調査研究する。なお、グルテン等のタンパク質を脱アミド化する酵素は市販されていない。また、同様の操作により高発現させることが可能な、グルテンを加水分解できる新たなプロテアーゼについても並行して検討を行う。グルテンの特定部位だけを加水分解できるプロテアーゼならば、高分子量の可溶性グルテンを調整することができ、上記用途に好都合である。

2 実験方法

2.1 候補遺伝子探索

遺伝子の選定には、麴菌ゲノム解析プロジェクトのメンバーに配布されているデータベースと塩基配列の注釈情報（アノテーションデータ）を使用した。また、その配列情報を基に以下の情報を調査し、酵素開発に利用されていない未登録の遺伝子を選択した。

- ・アノテーション（注釈）の情報
- ・EST（cDNA 断片データベース）検索
- ・タンパク質のモチーフ類似性検索
- ・小胞体移行シグナル検索
- ・BLAST（配列データベース）検索
- ・細胞内局在部位予測
- ・特許等の検索

2.2 麴菌形質転換と SDS-PAGE

麴菌を利用した有用酵素の高発現方法は、まず目的遺伝子を組み込んだベクターを麴菌に導入して形質転換を行う。その遺伝子情報により麴菌内で mRNA を介してタンパク質（ここでは酵素）が高発現し、それらは麴菌外へ分泌、もしくは菌体内で留まる。導入する遺伝子は麴菌が持つ遺伝子を使うことから、いわゆるセルフクローニングの範疇にはいるため、高発現した酵素の食品利用には問題はない。

宿主は *A.oryzae*NS4 株を用いた。NS4 株は硝酸還元遺伝子と硫黄基転移遺伝子を欠損しているため、栄養要求性の有無で形質転換体を容易に選択・分離ができる。形質転換は、プロトプラスト化した細胞に DNA を導入するプロトプラスト-PEG 法を用いた。再生プレートに生育した麴菌を培養して、培養上清と菌体それぞれからタンパク質を抽出した。SDS-PAGE は、10 %アクリルアミドゲルを用いて Leammli の方法に準じて行った。

3 結果と考察

3.1 グルタミナーゼ、またはアスパラギナーゼ様酵素の発現

麴菌のゲノム情報からグルタミナーゼまたはアスパラギナーゼ様モチーフを有する配列は約 40 種類存在した。そのうち特許等の登録がされていないものについて調査を行い、5 種類の遺伝子を選抜した（表 1 G1 ~ G5）。

表 1 グルタミナーゼ、アスパラギナーゼ様遺伝子

	登録番号	分子量	等電点	推定モチーフ
G1	266000003	60570	5.9	Asparaginase
G2	280000039	68125	6.5	γ -glutamyltranspeptidase
G3	313000009	64342	5.4	γ -glutamyltranspeptidase
G4	334000041	39669	5.4	Asparaginase
G5	338000047	92431	5.5	related to glutaminase A

5 種類それぞれについて発現ベクターの構築を行い、麴菌に形質転換した。それぞれ約 20 個の形質転換体が得られた。そのうち 4 個（G4 は 5 個）をランダムに抽出し、発現状況を確認するために培養上清と菌体のタン

パク質を抽出し、SDS-PAGEにより分離を行った（図1：培養上清、図2：菌体）。

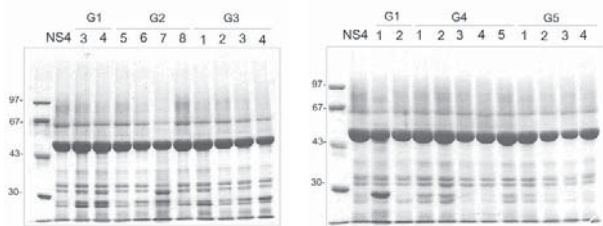


図1 グルタミナーゼ遺伝子導入菌株の培養上清のSDS-PAGE（G1～G5それぞれ得られた形質転換体を4～5個ずつ選び、タンパク質を抽出した。1～8の番号は選んだ形質転換体の番号を示している。分子量マーカーの数字の単位は（kDa）である）

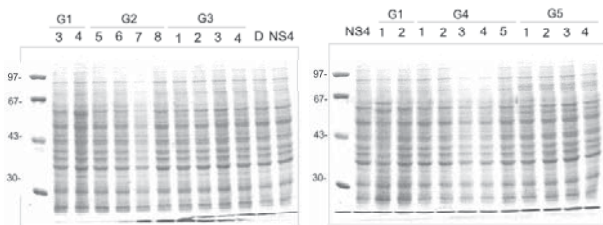


図2 グルタミナーゼ遺伝子導入菌株の菌体のSDS-PAGE

宿主（NS4）とのバンドパターンを比べることにより目的タンパク質の発現が確認できる。図より、上清側のG2および菌体側のG1に新たなバンドが出現し、その分子量から目的の酵素だと考えられる。

そこで、G1の菌体抽出物、G2～G5の培養上清を試料としてグルタミナーゼ活性を測定した（図3）。その結果、全ての試料でNS4より活性が高くなっていったことからグルタミナーゼ活性をもつ酵素が発現できたと考えられる。G3, 4, 5についてはSDS-PAGEでは検出されていないがグルタミナーゼタンパク質が発現している可能性が高い。グルテンの脱アミド化活性に関しては今後検討を行う。

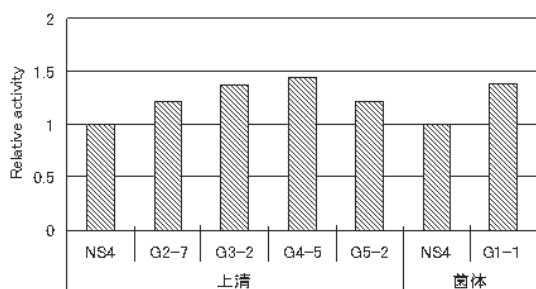


図3 グルタミナーゼ G1～G5 のグルタミナーゼ活性

（数値は、NS4株の上清、菌体それぞれに相対的な値を示している）

3.2 プロテアーゼの発現

3.1と同様に表2に示した4つのプロテアーゼ様のモチーフを有する遺伝子を選択して形質転換を行い、培養上清を試料としてプロテアーゼ活性を測定した。その結果、基質をカゼインとした条件下（pH3.0あるいは7.0）においては、A～Dいずれも宿主株に対して優位な結果が得られた（図4）。このことよりプロテアーゼ活性を有する酵素が発現されたことが明らかとなり、さらに高発現できるように検討中である。

表2 プロテアーゼ様遺伝子

	登録番号	分子量	等電点	推定モチーフ
A	252000004	39142	5.2	Eukaryotic aspartyl protease
B	312000069	42917	5.4	Eukaryotic aspartyl protease
C	319000053	45572	4.4	Eukaryotic aspartyl protease
D	343000208	45007	5.1	Eukaryotic aspartyl protease

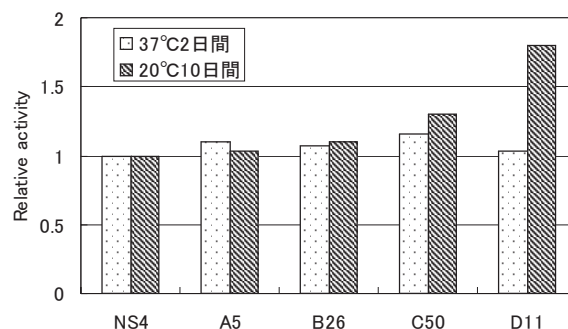


図4 プロテアーゼ A~D のカゼイン分解活性

（数値は、NS4株の上清、菌体それぞれに相対的な値を示している）

4 まとめ

グルテンの溶解性を高める目的で、新たな酵素を合成するための遺伝子組み換え麹菌から新規酵素産生を試みたところ、グルタミナーゼ、およびプロテアーゼ様の酵素発現に成功した。この中にはプロテイングルタミナーゼ様の効果を示す可能性が高いものもあり、これらの酵素を利用して高分子量の可溶化グルテンを調製して機能化を計ることができる。今後酵素活性等をさらに詳細に検討する予定である。

（文責 原田 修）
（校閲 桑田 実）

7 新機能バーコードシステム創出研究会

三浦久典, 北川洋一, 中本裕之, 小坂宣之

1 目的

本研究会では、工業技術センターのバーコード関連技術シーズ^{1)~3)}をベースとし、医療関係分野の新しい情報管理システムの実用化に向けその可能性を検討した。

医療機器に係る安全対策の見直しを主な内容とする改正薬事法が平成17年4月に施行された。この法律は医療機器が人命に直接影響を及ぼすものであり、その安全性と有効性が保証されねばならないことに基づく。本研究会ではこの医療関係分野の中で、病院等における手術時に用いられる医療器具、手術用器材などのより細かな器材管理を検討した。現状、手術に用いられるメス、ハサミなどの器材の個々について、納入時期、使用期間、使用頻度の管理は充分になされてなく、安全医療への要望、ニーズが高まっている。

2 システム構想

医療器具・治具など手術用器材管理システムについての構想を図1に示す。手術用器材を個別に識別するために単体IDとして各々にコードを付す。このことにより、器材個々の管理として以下のことが可能になる。

①個別履歴

- ・購入情報・購入年月日、購入先、製造元、製造ロットなど
- ・使用履歴・投入場所、使用頻度、使用状況（対応手術、使用者、患者など）
- ・メンテナンス履歴・修理情報、洗浄状況など

②現品状況・手術使用中、洗浄済み保管など

③メンテナンス情報・洗浄指示、廃棄指示（廃棄時期）など

また、器材管理システムとして、器材個々の情報データベースを持つことで、次のとおり、種々の管理が可能になる。

- ①医療器材の在庫管理
- ②手術等投入のための品揃え
- ③器材購入・廃棄指示システム
- ④医療行為等に対するトレース

上記システムを構築する際の課題は、器材へのコード貼付（熱、薬品に対する方策）である。医療器材にバーコード貼付する際、例えば、点滴用器材など常温である

場合にはその一部にバーコードラベルなどを直接貼り付けることは可能だが、メス、ピンセット、ハサミなどの場合には、洗浄などに対する熱、液体対策、貼付等の場所が微小で、かつ限定された場所であることに対策が必要である。

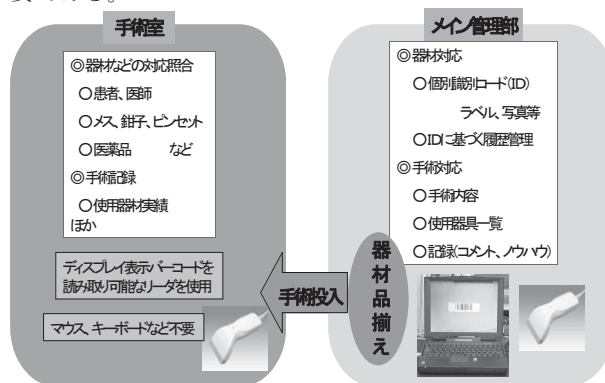


図1 システム構想

3 器材へのコード付与検討

医療器材にコード等を付与する場合、以下の問題をクリアしなければならない。

- ・洗浄、殺菌を行うため、高温処理、アルコール等の溶剤により印刷が消える。
- ・手に持つ時の感触、扱いが変わる可能性がある。
- ・はがれ、剥離などがあると体内に入る危険がある。

こうした問題点があるため、各種コード付与方法について基本的知識および医用器材へのコード付与に特化した性能等を持つかどうかをバーコードラベル、RF-IDタグ、器材への直接印字などについて検討した。その結果、手術用等の医療器具には、直接印字がもっとも適した方法と判断した。

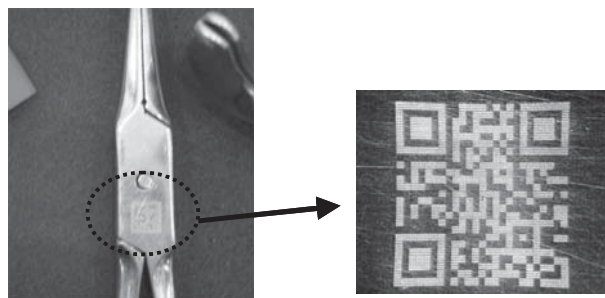


図2 医用機器への2次元コードダイレクト印字例

4 システム提案

本研究会で検討した結果、図3に示す手術用器材管理システムを提案する。医療器材各個別にバーコードを付し、個別識別するとともに、医療器材の総括管理をメイン管理コンピュータで一括管理する。手術用器材管理システムは、総合管理と個別管理の2つの部分から構築する。

(器材総合管理)

①在庫、ロケーション管理

各器材個々のロケーション（所在）管理、現在の在庫量と使用率の把握、使用状況に基づく購入計画ならびに購入手配、購入品受け入れならびに現場への投入等を行う。

②手術計画に基づく器材最適配置

別途作成されている手術計画を入力し、手術スケジュールに合わせてその手術に必要な器材の割付、および手術前準備として器材の品揃えを行う。器材の割り付けの際に、手術内容、患者、医師などを加味したものとする。

③トレーサビリティ

手術、医師、患者、器材の各項目毎に、過去の状況を検索できる、いわゆるトレーサビリティの機能を備える。

④メンテナンス管理

各器材個々の情報をベースに、再使用のための洗浄・殺菌処理、故障・破損に対する修理・廃棄、耐用期限管理による廃却などのメンテナンス管理を実施する。

(器材個別管理)

器材は個別識別コード（ID）によって下記の内容を管理し、器材個々の情報をデータベースとして記録し、索引できるようにする。

①購入情報

納入日、メーカー、投入日などの購入情報とリンクする。

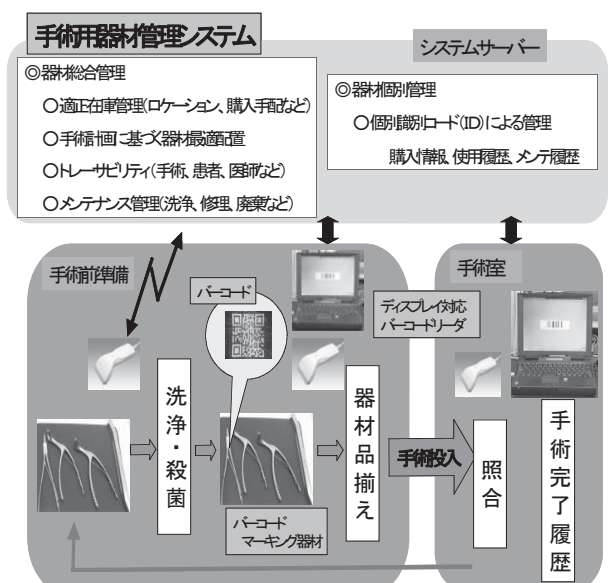


図3 提案システム

②使用履歴

使用した手術の日時、内容、医師、患者などの情報を使用履歴として保存する。

③メンテナンス履歴

洗浄・殺菌などの再使用処理、故障・破損の修理、あるいは不具合発生時の情報、廃却状況などの履歴を保存する。

5 成果

新機能バーコードシステムとして手術用器材管理システムの提案を行うことができた。利点として、

①医療器材のロケーション管理ができ、適正在庫、手術時の仕様器材準備の効率化などが可能となる。

②メンテナンス管理が容易となり、洗浄、修理などの確に行える。

③適所に操作端末が設置でき、端末における操作がワンタッチで可能となり、作業効率が向上する。

などが挙げられる。

6 まとめ

検討、提案した医療器材管理システムは、新たなバーコードシステムの展開につながると考える。今回は単にシステム提案の段階にとどまったが、更に、具体的な検証段階を引き続き進めて行きたい。最近、IDタグを用いたシステム展開が加速されており、医療関係分野でも様々な取り組みが行われている。これらシステムではIDタグの特質を活かしたシステムも見受けられ、提案したバーコードシステムとの融合を図ることを検討する必要もある。例えば、器材自身の管理には、バーコードを用いるが、品揃えトレイにはIDタグを用いて管理するなど一方法である。今後、こうした融合システムの検討も行っていく予定である。

参考文献

- 1)三浦久典, 小坂宣之, 「ディスプレイ上コードの読み取り可能なバーコードリーダー」, 兵庫県立工業技術センター製品化事例集平成15年度版, p.12, (2003).
- 2)三浦久典, 北川洋一, 小坂宣之, 「ディスプレイ対応バーコードリーダーによる倉庫管理システム」, 兵庫県立工業技術センター製品化事例集平成16年度版, p.3, (2004).
- 3)「ユビキタス社会のRFIDタグ徹底解説」(株)電子ジャーナル(2004).

(文責 三浦久典)

(校閲 一森和之)

8 難燃性マグネシウム合金製ヘルメットの試作に関する研究

有年雅敏, 野崎峰男, 阿部 剛, 浜口和也, 谷 州博¹⁾, 北沢孝次²⁾

1 目 的

難燃性マグネシウム(Mg)合金は、通常のMg合金が持っている「燃えやすい」という欠点を改善するために開発されたものである。難燃性Mg合金は、通常のMg合金よりも発火点を約200K上昇させる効果を持っている。また、難燃性Mg合金は、大気中で溶解することができるなど、通常のMg合金よりも優れた特性を持っている。

本研究は、現在FRP(繊維強化プラスチック)、熱硬化性樹脂などによって製作されている乗車用ヘルメットを、軽量で装着しやすくするため、材質を難燃性Mg合金に替えて試作するための基礎研究を行った。なお、ヘルメットを試作するにあたり、摩擦攪拌接合によって接合した部材を用いて、温間絞り試験によって性能評価した。

2 実験方法

2.1 難燃性 Mg 合金

使用した難燃性Mg合金は、AZ60にカルシウムを約2%添加したものである。板厚は1.5, 2.0mmの2種類である。絞り試験するための部材は、板幅150mmの難燃性Mg合金を突き合せて摩擦攪拌接合することによって製作した。

図1は板厚2.0mmの場合の母材組織である。難燃性を有する酸化カルシウムは、材料表面では皮膜、材料内部では粒子状(白く見える粒子)でほぼ均一に分散する。

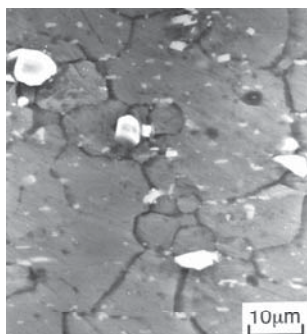


図1 母材組織(板厚: 2.0mm)

2.2 摩擦攪拌接合の原理

摩擦攪拌接合は、図2に示すように先端部に接合ピン(以後、ピンという)を持つ接合ツールを回転させなが

1) ㈱ケーエステクノス 2) 北沢産業㈱

ら接合部に圧入し、ピンと接合材との間で発生する摩擦熱と塑性流動を利用して溶かさずに接合する方法である。摩擦攪拌接合は、凝固割れの発生がなく、大気中で接合でき、開先面における酸化皮膜の影響を受けにくい特徴があり、板材の接合に適している。

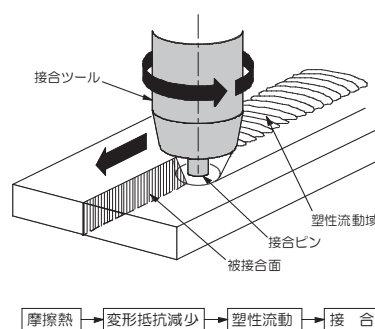


図2 摩擦攪拌接合の概略図

2.3 摩擦攪拌接合条件

本研究では、接合ツールの回転数N 1500 ~ 3000rpm、接合速度Fを50 ~ 300mm/minの範囲で接合した。継手性能は引張強さによって評価した。

3 結果と考察

3.1 摩擦攪拌接合部の金属組織

難燃性Mg合金は、AZ31の場合に比べて硬く、高温で塑性流動しにくいいため、AZ31のように高速回転・高接合速度では接合不良を起こす。このため、摩擦攪拌接合が可能な条件は、低回転数でかつ低接合速度の狭い範囲となる。図3は、板厚2.0mmにおいて回転数N=2000rpm、接合速度F=150mm/minで接合した継手の横断面マクロ写真および光学顕微鏡組織である。接合部の板厚は、中心付近では1.9mmと若干の減少が認められたが、変形が小さいことが明らかになった。攪拌部の中心付近(d)の金属組織は、母材部(a)(平均結晶粒径: 約30 μ m)から接合部に近づくにつれて微細化しており、攪拌部の中心付近(d)では平均結晶粒径が数 μ mまで動的再結晶によって微細化していた。攪拌部と母材部との境界付近(c)では、攪拌部の中心付近(d)を詳細に観察した結果、酸化カルシウム粒子は、摩擦攪拌による高温中での強加工を

受けて母材組織よりもかなり微細化しており、粒径がサブミクロンの粒子も観察された。

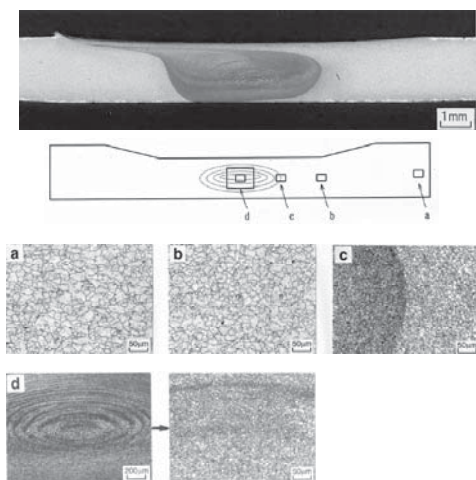


図3 摩擦攪拌接合部の金属組織(板厚: 2.0mm)

板厚1.5mm場合も、板厚2.0mmの場合と同様に、攪拌部付近の金属組織は母材部よりもかなり微細化していた。また、攪拌部付近における酸化カルシウム粒子は、母材部に比べ微細化し、粒状になって数多く分散しているのが認められた。

3.2 摩擦攪拌接合材の継手強度

図4は、板厚が2.0mmにおける継手の引張強さに及ぼす接合速度の影響をツールの回転数をパラメータとして示したものである。継手の引張強さは、接合速度の増加とともに少しずつ上昇し、接合速度 $F=150\text{mm}/\text{min}$ において $N=1500\text{rpm}$ では 221MPa 、 $N=2000\text{rpm}$ では 223MPa に達し、母材強度に接近した。板厚が1.5mmの場合についても、2.0mmの場合と同様な傾向を示し、90%以上の継手効率が得られた。継手は、板厚によらず、いずれも摩擦攪拌接合部のTMAZ(熱的機械的影響部)付近で破断した。

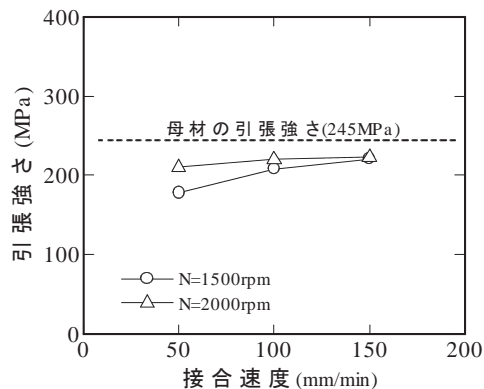


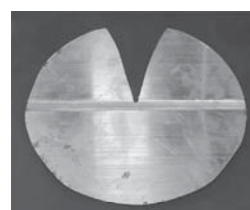
図4 継手の引張強さに及ぼす接合速度の影響

4 温間絞り試験結果

摩擦攪拌接合した部材の絞り試験は、図5(a)に示すように直径200mmの半球状の簡易な金型を用いて、摩擦攪拌接合部材(図5(b))を凹型の金型上に設置し、試験温度 573K (300°C)、絞り速度 $4\text{m}/\text{min}$ で行った。



(a) 直径200mmの半球金型



(b) 温間絞り試験片

図5 半球金型と温間絞り試験片

試験温度 423K では、摩擦攪拌接合方向に沿って割れが発生することが明らかになった。図6は、板厚1.5mm、試験温度 573K で絞り試験した結果を示したものである。試験片の裏面(a)および表面(b)とも割れのない良好な絞り加工を行うことができた。ヘルメットを想定して半球状の簡易金型を用いて温間絞り試験を行った結果、割れのない良好な絞り加工の可能性が確認された。

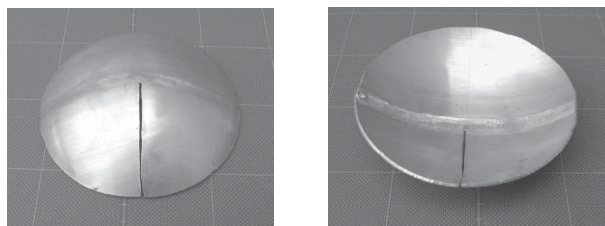


図6 試験温度 573K で絞り試験した結果

5 結言

難燃性Mg合金を摩擦攪拌接合によって製作した大型部材を用いて、試験温度 573K で直径200mmの半球上の金型による絞り試験を行った結果、割れが発生することなく絞り加工することができた。今後、FRPや熱硬化性樹脂製よりも軽量でかつ装着性の良い乗車用ヘルメットの製作が可能であることが確認された。

(文責 有年雅敏)

(校閲 富田友樹)