

ISSN 0386-149X

岡山県工業技術センター報告

(Report of Industrial Technology Center of Okayama Prefecture)

第 46 号

令和 2 年 8 月

岡山県工業技術センター

目次 / CONTENTS

【 報 文 / PAPER 】

- | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---|
| 1 PE/PAブレンドの力学特性に関する検討
Investigation of mechanical properties of PE / PA polymer | 日笠 茂樹
Shigeki HIKASA | 1 |
| 2 湿式分析による石灰の定量分析手法の改良
Improvement of quantitative analysis method for lime by wet analysis | 藤井 英司
古谷 充章
Eiji FUJII
Mitsuaki FURUTANI | 6 |

【 技術資料 / TECHNICAL REPORT 】

- | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 伝導ノイズを対象とした簡易測定システムの実装
Implementation of simple measurement system for conducted emissions tests | 若槻 友里
Yuri WAKADUKI | 11 |
| 2 進行波搬送システムに関する実験と数値解析
Experiments and numerical analyses of traveling wave carrier system | 岩田 和大
眞田 明
Kazuhiro IWATA
Akira SANADA | 13 |
| 3 水中構造物用の実験モデル解析における打撃力の高精度計測
High Accurate Measurement of Exciting Force in Experimental Modal Analysis for Underwater Structure | 辻 善夫
眞田 明
岩田 和大
櫻井 貴哉
井上 俊之
Yoshio TSUJI
Akira SANADA
Kazuhiro IWATA
Takaya SAKURAI
Toshiyuki INOUE | 16 |
| 4 清酒製造場由来の野生酵母の耐酸性
Acid Tolerance of Wild Yeast Derived from Manufacturing Setting of Sake Brewery | 伊藤 一成
谷野 有佳
三宅 剛史
Kazunari ITO
Yuka TANINO
Tsuyoshi MIYAKE | 18 |
| 5 磁界と流体の連成解析によるモータの温度に関する研究
Study on temperature of motor by coupled analysis of magnetic field and fluid | 勝田 智宣
下山 力生
戸田 憲吾
戸田 幸男
Tomonori KATSUTA
Rikio SHIMOYAMA
Kengo TODA
Yukio TODA | 22 |
| 6 インジゴ染色布の次亜塩素酸ナトリウム脱色に及ぼす臭化物イオンの影響
Effects of Bromide ion on Bleaching of Indigo Dyed Cloth with Sodium Hypochlorite | 國藤 勝士
松本 侑子
Katsushi KUNITOU
Yuko MATSUMOTO | 24 |
| 7 ニューラルネットワークを用いたゴムの物理的特性推定
Prediction of physical properties of rubbers by neural networks | 平田 大貴
眞田 明
岩藤 仁
Daiki HIRATA
Akira SANADA
Hitoshi IWABUKI | 26 |
| 8 パッシブ音響フィルタのデモンストレーション装置
Development of a passive acoustic filter demonstration device | 眞田 明
余田 裕之
高祖 英樹
Akira SANADA
Hiroyuki YODEN
Hideki TAKASO | 28 |

9 熱間鍛造における金型ひずみに及ぼす加熱温度の影響	築山 訓明 辻 善夫 内田 清 林 祥次	30
Effect of Heating Temperature on Die Strain in Hot Forging	Kuniaki TSUKIYAMA Yoshio TSUJI Kiyoshi UCHIDA Shoji HAYASH	
10 X線マイクロCTによる捺染綿布の染色性評価	松本 侑子	32
Evaluation of dyeability of printed cotton fabric by X-ray μ CT	Yuko MATSUMOTO	
11 LANコネクタの寄生容量によるクロストークの検討	渡辺 哲史 若槻 友里 若尾 和正 林 洋之	34
Crosstalk Evaluation with the Parasitic Capacitance of LAN Connector	Tetsushi WATANABE Yuri WAKADUKI Kazuo WAKAO Hiroyuki HAYASHI	
12 分子動力学計算による金属酸化物あるいは金属表面とポリエチレンの接着性評価	中西 亮太	36
Evaluation of adhesion between polyethylene and metal oxide or metal surface through the molecular dynamics calculation	Ryota NAKANISHI	
13 大気圧プラズマの照射距離がポリエチレンの表面特性に及ぼす影響	中西 亮太 松岡 大樹 水戸岡 豊	38
Effect of irradiation distance of atmospheric plasma on properties-polyethylene surface	Ryota NAKANISHI Hiroki MASTUOKA Yutaka MITOOKA	
14 二酸化塩素水溶液によるゴムの強度低下とその機構	石田 拓也 岩薮 仁	40
Degradation of tensile strength of rubber in chlorine dioxide solution and its mechanism	Takuya ISHIDA Hitoshi IWABUKI	
15 ハロイサイトのエポキシ樹脂接着剤への適用検討	日笠 茂樹 甲加 晃一 梅原 智直 岡崎 健一 城石 知紀	42
Application test of halloysite for epoxy resin adhesive	Shigeki HIKASA Kouichi KOUKA Tomonao UMEHAROA Kenichi OKAZAKI Tomonori SHIROISHI	

【 外部発表 】

(誌上发表)

1 Effect of flexible plates and micro-orifices on acoustic filter response for frequency specific earplugs	眞田 明、中川 博	45
2 無通風箱培養法を利用した固体培養における麹菌の生育と酵素生産に関する研究	伊藤 一成	45
3 ENSEMBLE LEARNING IN CNN AUGMENTED WITH FULLY CONNECTED SUBNETWORKS	平田 大貴、高橋 規一	45
4 岡山発のインホイールモーター車OVEC-ONE、OVEC-TWO	勝田 智宣	46

(口頭発表)

47 ~ 53

報 文

PE/PA ブレンドの力学特性に関する検討

Investigation of mechanical properties of PE / PA polymer blends

日笠 茂樹

Shigeki HIKASA

キーワード 直鎖状低密度ポリエチレン / ポリアミド6 / ブレンド / 力学特性
KEY WORDS Linear Low-Density Polyethylene / Polyamide 6 / Blend / Mechanical Properties

要 旨

ポリエチレン(PE)とポリアミド(PA)を含む積層フィルムが食品包装用に用いられている。しかし、この積層フィルムの熔融混練では相溶性に乏しいブレンド物が得られてしまうために、この積層フィルムのマテリアルリサイクルは十分に検討されていない。そこで、PE/PA多層フィルム回収物のモデルとして直鎖状低密度ポリエチレン(LLDPE)/ポリアミド6(PA6)ブレンドの力学特性と相溶化材である無水マレイン酸変性ポリプロピレン(MPP)の添加効果について検討した。LLDPE中に分散するPA6粒子によって弾性率と引張降伏応力は向上し、衝撃強度は低下した。相溶化材としてのマレイン酸変性PP(MPP)の添加は、LLDPE中に分散するPA6粒子を微細化し、衝撃強度を顕著に向上させた。一方、MPPの添加は、弾性率や引張降伏強度をあまり変化させなかった。LLDPE/PA6ブレンドへのMPPの添加は、高い衝撃強度と高い弾性率を両立させる優れた手法であった。

1 はじめに

食品包装用フィルムとして、ポリエチレン(PE)とポリアミド(PA)を積層したフィルムが用いられている。このフィルムは、熱融着性に優れた低密度PE(LDPE)あるいは直鎖状低密度PE(LLDPE)とバリアー性に優れたポリアミド(PA)の2層を含み、さらに、2つの層を接着させる第三成分などを含む多層フィルムである。

一般に、積層フィルムのリサイクルに際し、再熔融混練、再ペレット化を行う場合、積層構造が維持できず、主成分中に副成分が分散する海-島構造などの構造が形成される。そのために、十分な性能を発揮できず、低品位な材料としての利用に止まっている。

しかしながら、回収した積層フィルムに限らず、プラスチックのマテリアルリサイクルを推進するためには、これら回収したプラスチックが十分な性能を発揮することが望まれている。

そこで本研究では、回収した積層フィルムのモデルとして、LLDPE / ポリアミド6(PA6)ブレンドへの相溶化材の添加が分散構造や力学特性に与える影響について検討した。

2 実験方法

2.1 原材料

マトリックスポリマーは、LLDPE (日本ポリエチレン(株)、ノバテックUF240、MFR= 2.1 g/10min.)であった。PAはポリアミド6(PA6、東レ(株)、アミランCM1017)であった。相溶化材は、マレイン酸変性ポリプロピレン(MPP、三洋化成工業(株)、ユーメックス1001(酸価26 mgKOH/g))であった。

2.2 試料調製

複合材料の調製を2軸押出機にて行った。LLDPE、PA6、MPPを表1に示す比でペレット混合し、2軸押出機(TEX30α、L/D=42、(株)日本製鋼所)に投入して混練し、複合材料を得た。設定温度は、PA6の熔融温度以上とするために235℃とした。また、せん断速度の影響を検討するために、主軸回転数を70 rpmおよび400 rpmとした。得られた複合材料のほとんどを水冷後ペレット化し、80℃の送風乾燥機で4時間乾燥した。また、一部を、SEM観察のために、ストランドのまま採取した。

表1 配合表

サンプル名	LLDPE量 (vol)	PA6量 (vol)	MPP量 (vol)
Non-MPP-70rpm	0.85	0.15	0
Non-MPP-400rpm	0.85	0.15	0
MPP-Add-70rpm	0.82	0.15	0.03
MPP-Add-400rpm	0.82	0.15	0.03

力学特性測定用の試験片は、射出成形機(J55AD、(株)日本製鋼所)を用いて作製した。射出温度をホッパーからノズルに向けて、50、190、200、210、220、235℃とし、金型温度を45℃とした。射出速度を25 mm・s⁻¹、成形機設定射出圧力80 MPa、成形機設定保持圧力60 MPaとした。JIS K7162に規定されている1Aダンベル型試験片を採取した。この1Aダンベル型試験片の中央の平行部をシャルピー衝撃試験片および曲げ試験片とした。

2.3 相構造の観察

複合材料中でのPA6粒子の分散状態を走査電子顕微鏡(SEM、S-3700N型、(株)日立ハイテク)で観察した。二軸押出機から排出されたストランドあるいは射出成形で得られた試験片を液体窒素中で凍結破断した。得られた破断面を2wt%リンタンゲステン酸水溶液で室温下、1時間染色し、その面を白金蒸着後に観察した。これらSEM観察において、加速電圧は5kVであった。

2.4 力学特性評価

引張試験および曲げ試験を、各々、JIS K7161および、JIS K7171に準じて万能材料試験機(AG-100kNPlus、(株)島津製作所)を用いて、温度23℃、湿度50%の恒温恒湿室内で行った。引張速度を50 mm・min⁻¹とした。また、曲げ速度を2 mm・min⁻¹とし、応力-歪み曲線の初期の傾きから弾性率を算出した。

シャルピー衝撃試験を、JIS K7111-1に準じてシャルピー衝撃試験機(DG-UB、(株)東洋精機製作所)を用いて、温度23℃、湿度50%の恒温恒湿室内で行った。ハンマー秤量は4Jであった。

上記力学特性試験に関しては、各5検体を測定し、平均値を試験結果とした。

3 結果と考察

3.1 PA6粒子の分散状態

このLLDPE / PA6系ブレンドの相構造を観察するために、凍結破断面のSEM観察を行った。その結果を図1に示す。試料は二軸押出機から排出されたストランドであり、そのTD方向観察を行った。

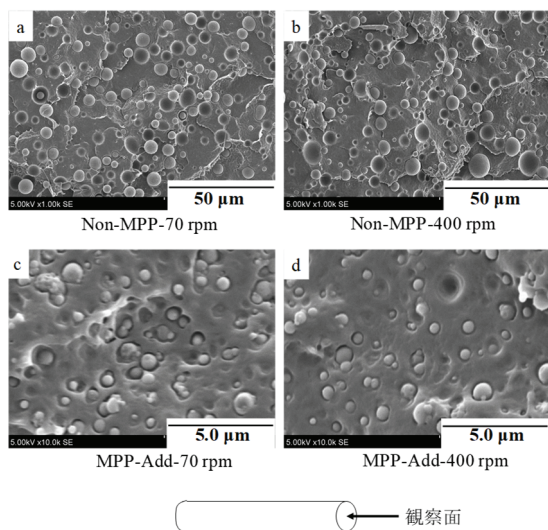


図1 ストランド断面のSEM写真

MPP未添加の図1aと図1bでは、PA6分散粒子径はほぼ同じで5~10 μmであった。一方、MPPを添加した図1cと図1dでは、PA6分散粒子径はほぼ同じで0.5~1 μmであった。これらのことから、MPPを相溶化材として添加すると、PA6分散粒子が微細化することが示された。このことは、MPPがLLDPE/PA6界面に偏在し、そのことによってLLDPEとPA6の界面の界面張力差が小さくなったためと考えられる

1~3)。

ところで、ポリマーブレンドに関しては、加工時の剪断速度が分散粒子径に影響することが知ら

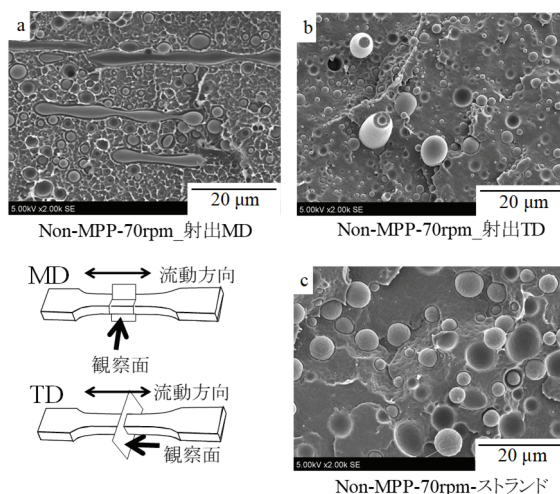


図2 射出成形品とストランドのPA粒子分散状態比較 (Non-MPP-70 rpm)

れている⁴⁾。しかしながら、本研究においては、MPPの有無にかかわらず、押出機の回転数、すなわち押出機の混練部のせん断応力はPA6分散粒子径に影響を与えなかった。このことに関しては、後述する射出成形サンプルのSEM観察と併せて考察する。

次に、これらブレンドを射出成形したサンプルの相構造観察結果を図2および図3に示す。図2は、MPP未添加サンプル、図3はMPP添加サンプルである。図2aは、射出成形品をMD方向に観察したもの、図2bは射出成形品をTD方向に観察したもの、図2cは比較として押出直後のストランドをTD方向に観察したものである。図3も同様である。

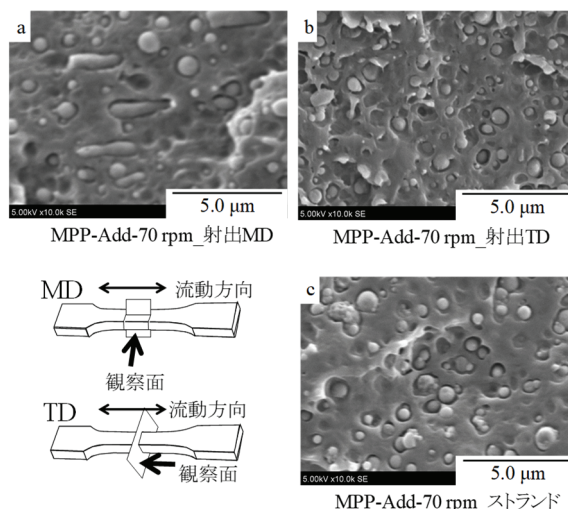


図3 射出成形品とストランドのPA粒子分散状態比較 (MPP-Add-70 rpm)

なお、図1において、押出機回転数70 rpmと400 rpmとでは、PA6分散粒子径に変化が見られなかったこ

とから、今後は、これらを区別せずに議論する。用いる写真やデータは、主に 70 rpm で作成したサンプルを用いて得たものである。

図 2bおよび図2cより、MPP未添加サンプルでは、射出成形品に関して、ストランドよりも微細なPA6粒子が観察された。また、図 2aより、一部残存しているPA6の大粒子は、射出の流れ方向に引伸ばされていた。

一方、図3bおよび図3cより、MPP添加サンプルでは、射出成形品とストランドでは、PA6粒子の大きさがあまり変化していなかった。また、図3aより、一部のPA6粒子は射出方向にやや引伸ばされていたが、その程度はMPP未添加サンプルと比較して軽度であった。

これらの結果から、以下のことが考えられる。

図2において、MPP未添加サンプルでは、押出機によって得られたストランド中のPA6粒子よりも、そのストランドを射出成形した引張試験片中のPA6粒子の方が、より微細なものが観察されている。また、微細化されていないPA6粒子は、射出方向に引伸ばされている。このことから、PA6粒子の微細化や引伸ばしは、射出成形に起因する。これは、射出成形において、高速度で金型内に射出される際に微細化されたPA6粒子や、微細化されずに引伸ばされたPA6粒子は、その状態のまま速やかに冷却されて固化したということである。

一方、図1において、70 rpmと400 rpmという剪断速度が大きく異なる条件で混練し、また、射出成形機よりも大きなせん断速度やせん断応力を期待できる二軸押出機を用いたにもかかわらず、ストランド品のPA6粒子径はほとんど同じであり、射出成形品よりも大きな粒子が観察されている。

大きなせん断応力やせん断速度が分散するポリマー粒子の微細化に寄与するという従来の知見⁴⁾と、せん断速度やせん断応力の大きい二軸押出機で得られた分散粒子径よりも、それを再溶融してせん断速度やせん断応力の小さいと考えられている射出成形機で得られた分散粒子径の方が小さいという結果から、たとえPA6が二軸押出機の混練部で微細な粒子として分散していたとしても、押出機の出口部分では低剪断速度となってしまうために、その部分で合一したと推測される。

ところで、図2aでは、粒子直径の大きな粒子が残存しているが、それは、射出時にMD方向に大きく引伸ばされ、また、長い粒子の所々が切断されかかっている。これは、剪断力がもう少し大きければ微細粒子となっていたと思われる長い粒子である。

一方、図3において、MPP添加サンプルでは、射出成形品(図3a、図3b)とストランド品(図3c)を比較すると、PA6粒子径はほぼ同じであった。これは、ストランドにおいてもPA6粒子径が十分に小さいために、この射出成形条件では、更なる微細化が起きなかったためと考えられる。また、射出時のPA6粒子のMD方向への引伸ばしもMPP未添加サン

プルと比較すると軽度であった。これも、PA6粒子径が小さいためと思われる。このように、このLLDPE/PA6ブレンドでは、MPPの添加によって粒子径が小さくなるとともに、成形による分散PA6粒子の形状の不安定さを軽減できた。

3.2 曲げ弾性率

図4に、このLLDPE / PA6系ブレンドの曲げ弾性率を示す。

このLLDPE / PA6ブレンドは、柔らかいLLDPE中にそれよりも固いPA6が分散した構造となっている。通常、高分子複合材料において、マトリックスよりも固い粒子が分散した複合材料は、マトリックス単体よりも高い弾性率を有する⁵⁾。これは、同一の歪みにおいて、より固い材料はより大きな応力を担うため、固い粒子が分散した複合材料は、柔らかいマトリックス単体よりも大きな応力を担うからである。

一方、MPPの有無は弾性率にほとんど影響を与えなかった。これは、分散するPA6の粒子径は、ブレンド物の弾性率に影響しなかったことを意味している。前述のフィラー添加による弾性率変化に関しても、フィラー粒子径は弾性率にほとんど影響しないことが示されており^{6,7)}、本研究におけるPA6粒子径が弾性率にほとんど影響を与えなかったことと一致する。

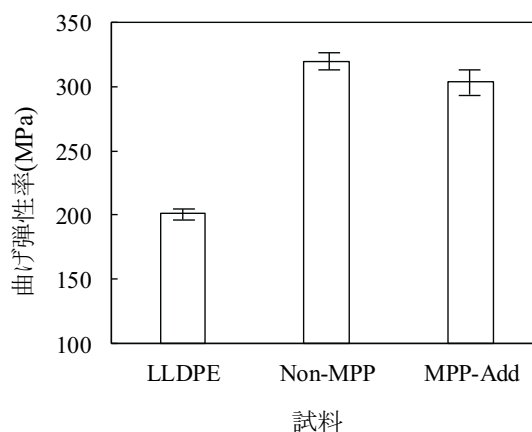


図 4 曲げ弾性率

3.3 引張降伏特性

図5に、このLLDPE / PA6系ブレンドの引張降伏応力を示す。PA6の添加によって引張降伏応力が明確に向上した。一方、MPPの添加では、引張降伏応力はほとんど変化しなかった。図6に、このLLDPE / PA6ブレンドの引張降伏歪みを示す。PA6粒子の存在によって引張降伏歪みは明らかに低下した。一方、MPPの添加によって引張降伏歪みは大きく向上した。

これらのことは、以下のように考えられる。

3.2にも記したように、このポリマーブレンドは、柔らかいLLDPE中にそれよりも固いPA6が分散した構造となっている。この場合、変形の極めて初

期には応力-歪み曲線が立ち上がり、高弾性率となる。次に、歪み数%程度までの領域において、マトリックスと固い分散粒子との界面が剥離する場合には分散粒子が応力を担うことができず、引張降伏応力は、この分散粒子の存在によって低下する^{4,7,8)}。しかしながら、マトリックス/分散粒子界面が剥離しない場合、マトリックスから固い分散粒子に応力が伝達される。この場合、固い分散粒子はマトリックスよりも大きな応力を担うことができるために、引張降伏応力は、この分散粒子の存在によって向上する^{5,8,9)}。

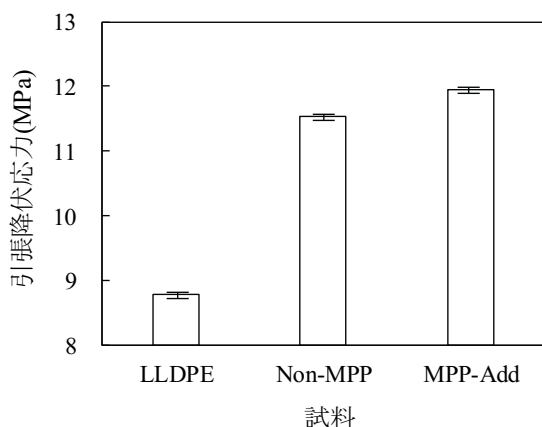


図5 引張降伏応力

本研究において、PA6粒子の存在によって引張降伏応力が大きくなっている。このことは、このLLDPE/PA6ブレンドは、引張降伏時にマトリックスであるLLDPEから分散粒子であるPA6に応力が良く伝達されていることを示している。

ポリマー中に固い粒子としてフィラーが分散した場合などは、相溶化材などを加えない場合にはマトリックス/フィラー界面が剥離し引張降伏応力が低下するケースが多い。これに相溶化材を添加すると、マトリックス/フィラー界面が接着し、応力が十分に伝達されるために引張降伏応力が向上し、マトリックス以上となる場合もある。本実験系においては、特別な相溶化材を加えることなく、引張降伏応力が向上していることから、LLDPE/PA6界面が接着されている可能性も考えられるが、成形時の収縮など、残存する歪みの影響なども考えられるために、これのみでは明確に接着と断定できない。

ところで、引張降伏歪みは、PA6粒子の存在によって大きく低下し、MPP添加によって大きく向上している。このことは、以下のように考えられる。柔らかいマトリックスの中に固い粒子が分散している場合、分散する粒子は、引張の際にマトリックスよりも変形量が小さい。そのために、分散粒子径によって差があるものの、PA6粒子の存在は降伏歪みを低下させる。

ここで、MPP添加による引張降伏歪みの向上に関して、MPPの添加がPA6粒子を極めて有効に微細化

しており、PA6分散粒子のサイズが何らかの影響を及ぼしていると考えられる。

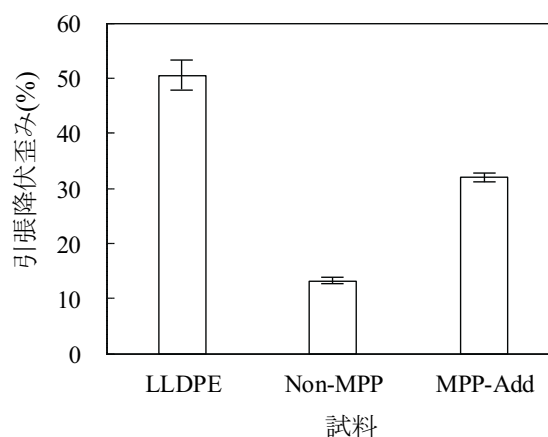


図6 引張降伏歪み

3.4 衝撃強度

図7に、このポリマーブレンドのシャルピー衝撃強度を示す。PA6粒子の存在によって衝撃強度は大きく低下した。一方、MPPの添加は、衝撃強度を大きく向上させた。

図8には、この試験によって破壊された試験片破壊状態を示す。

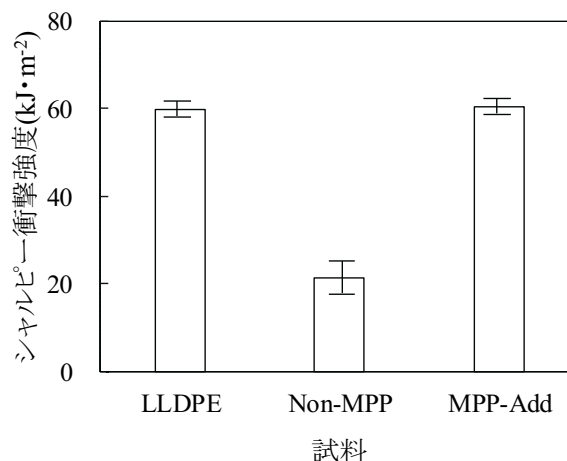


図7 シャルピー衝撃強度

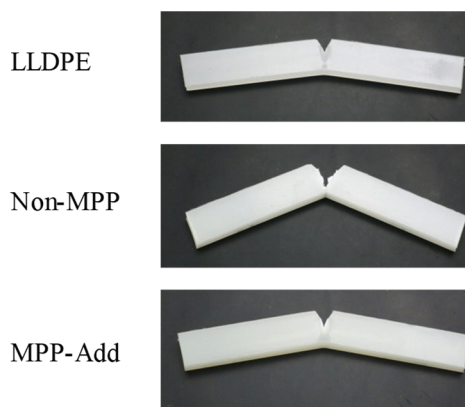


図8 シャルピー衝撃試験片

LLDPEおよびMPP添加サンプルは、一部が破壊された部分破壊状態であり、MPP未添加サンプルは、ヒンジ部が一部残存しているヒンジ破壊状態であった。

PA6粒子の存在により衝撃強度が低下した理由としては、破壊時に粗大粒子の存在する近傍で応力集中点が発生し、そこが破壊の起点となるからと考えられる^{8,10)}。一方、MPP添加による衝撃強度の向上は、粒子の微細化による応力集中の抑制に起因すると考えられる^{11,12)}。

3.5 弾性率－衝撃強度バランス

ところで、プラスチックをはじめとして、材料の力学特性として、堅さと強靭さを両立させることが難しく、この両特性のバランスが重要である。本研究においても、このLLDPE / PA6ブレンドの弾性率と衝撃強度のバランスには興味を持たれる。

図9は、LLDPE / PA6系ブレンドに関して、弾性率と衝撃強度のバランスを示したものである。横軸を弾性率、縦軸を衝撃強度とし、各ブレンドの特性を示した。このグラフにおいて、右上が高い弾性率と高い衝撃強度を実現した材料であり、実用力学特性に優れていると判断される。

図9において、MPPを添加したサンプルは、LLDPE単独やMPP未添加のLLDPE / PA6二元系と比較して明らかに右上にプロットされており、優れた力学特性を有していた。

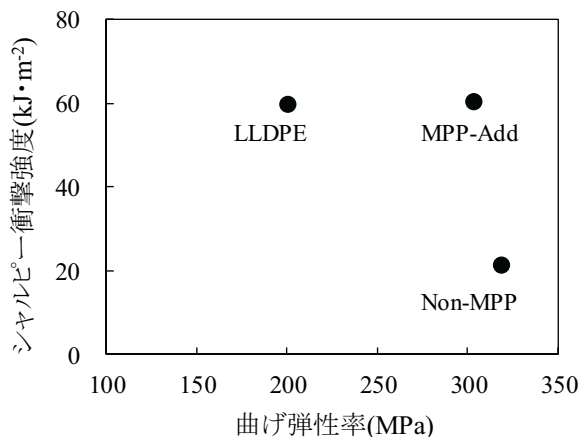


図9 曲げ弾性率－衝撃強度バランス

4 まとめ

PE/PA系リサイクル材料のモデルとしてLLDPE / PA6系ブレンドに関して、力学特性を検討した。以下の結果が得られた。

- 1) PA6によって弾性率と引張降伏応力は向上し、衝撃強度は低下した。
- 2) 相溶化材としてマレイン酸変性PP(MPP)を添加したところ、弾性率や降伏強度は大きく変化しなかったが、衝撃強度は顕著に向上した。
- 3) この衝撃強度の顕著な向上は、LLDPE中に分散するPA6粒子直径が、MPP添加によって微細化するこ

とに起因する。

4) LLDPE / PA6 / MPP系材料は、高い衝撃強度と高い弾性率を両立した優れた材料として有用である。

参考文献

- 1) D. D. P. Moreno, C. Saron : J. Appl. Polym. Sci., 47456 (2019)
- 2) P. Agrawal, A. W. B. Rodrigues, E. M. Araujo, T. J. A. Melo : J. Mater. Sci., 45, 496 (2010)
- 3) E. G. R. Anjos, E. H. Backes, J. Marini, L. A. Pessan, L. S. Montagna, F. R. Passador : J. Polym. Res., 26, 134 (2019)
- 4) 高分子学会高分子SBC研究会編：“ポリマーABCハンドブック”，(株)エヌ・ティー・エス(2001), p301
- 5) B. Pukanszky, F. Tudos : Makromol. Chem., Macromol. Symp., 38, 221 (1990)
- 6) G.-M. Lin, G.-X. Sui, R. Yang : J. Appl. Polym. Sci., 126, 350 (2012)
- 7) W. Yan, R. J. T. Lin, D. Bhattacharyya : Compos. Sci. Technol., 66, 2080 (2006)
- 8) Y. S. Thio, A. S. Argon, R. E. Cohen, M. Weinberg : Polymer, 43, 3661 (2002)
- 9) K. P. Sirisinha, I. Preechachon : J. Appl. Polym. Sci., 89, 3557 (2003)
- 10) V. Das, V. Kumar, A. Singh, S. S. Gautam, A. K. Pandey : Polym.-Plast. Technol. Eng., 51, 446 (2012)
- 11) Q. Fu, G. Wang : J. Appl. Polym. Sci., 49, 1985 (1993)
- 12) S. Hikasa, K. Nagata, Y. Nakamura : Compos. Interfaces, 18, 1 (2011)

湿式分析による石灰の定量分析手法の改良

Improvement of quantitative analysis method for lime by wet analysis

藤井 英司・古谷 充章

Eiji FUJII, Mitsuaki FURUTANI

キーワード 石灰 / 湿式分析 / 定量分析 / ICP 分析

KEY WORDS Lime / Wet analysis / Quantitative analysis / ICP analysis

要 旨

日本産業規格 JIS R 9011（石灰の試験方法）の分析手順を基に、石灰の定量分析を行った。その結果、酸化アルミニウムと二酸化ケイ素の分析値が大きくばらつく傾向が見られた。本研究では、JIS R 9011 の分析手法では溶解できなかった不溶残渣について、アルカリ性融剤と酸性溶液による再溶解を検討し、誘導結合プラズマ発光分光分析による分析を行った。その結果、不溶残渣中には、アルミニウムとケイ素の2成分が多く含有していることを明らかとし、その分析値を JIS 法による分析値と合算させると、酸化アルミニウムや二酸化ケイ素の分析値の標準偏差が低下し、高精度で分析できることを確認した。

1 はじめに

石灰石は、主に炭酸カルシウムから成る鉱物であり、工業用、医薬用、食品用、建材用、化成品用等、様々な石灰製品に加工され、利用されている¹⁾。各石灰製品は、用途に応じた成分含有量の規格が設けられているため、石灰製造企業は、品質管理として、日本産業規格 (JIS M 8850、JIS R 9011) に従い、石灰の定量分析を行う必要がある^{2,3)}。

JIS R 9011には、2006年の改定時に蛍光X線分析装置を用いた分析手法が追加された。蛍光X線分析装置を用いた定量分析では、従来の湿式分析法と比較して、迅速・簡便に行うことが可能となるため、石灰製造企業からの需要は高い。しかし、蛍光X線分析により正確な定量分析値を求めるためには、分析対象に近い組成比から成り、成分含有量が既知である標準試料が必要となる。蛍光X線分析用の石灰の標準試料は、現在、市販されていないため、独自に標準試料を用意する必要がある。しかし、石灰の主成分である酸化カルシウム (CaO) は98%以上を占め、酸化アルミニウム (Al₂O₃) や二酸化ケイ素 (SiO₂)、酸化鉄 (Fe₂O₃) のような他の成分は微量となるため、蛍光X線分析で検量線を作成した際に良好な直線性の検量線が得られない場合が多く、従来の湿式分析法で求めた成分値を更に高精度化する必要が生じた。

本研究では、JIS R 9011（以下、JISと略す）を参考に石灰の湿式分析を行い、JISに準拠した方法に、不溶残渣を分析する方法を追加し、より高精度に微量成分を定量できる手法について検討を行った。

2 実験方法

図1に湿式分析法のフローチャートを示す。JISに定められている分析手順に追加して、不溶残渣の分析を行った。本実験ではig. loss（強熱減量）、CaO、MgO、Al₂O₃、SiO₂、Fe₂O₃の分析を行った。

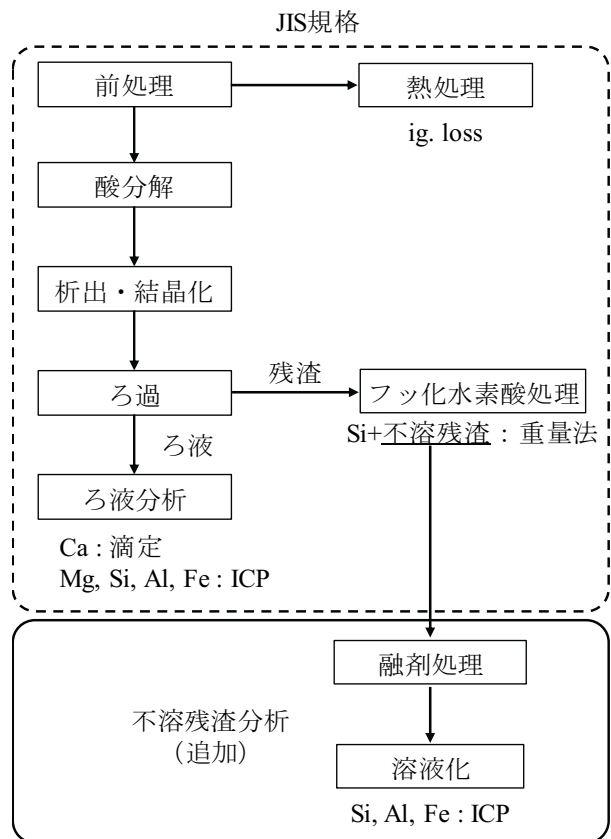


図1 湿式分析法のフローチャート

本実験に使用した石灰試料は、石灰石を粉砕し150 μmの篩で分級した篩下の粉体を採取し、秤量瓶に入れ、110 °Cで2時間乾燥させ前処理をした。その後、ガラスデシケータ内で放冷し、以下の実験に使用した。

白金るつぼに石灰試料を約2.5 g量りとり、1050 °Cに設定した電気炉で1時間加熱した。加熱後、電気炉から白金るつぼを取り出し、ガラスデシケータ内で室温になるまで放冷し、その質量を測定した。再度、1050 °Cに設定した電気炉で15分間加熱し、放冷後、質量測定を行った。質量減少が無くなるまで加熱・放冷を繰り返し、加熱前後の質量変化からig. lossを求めた。

石灰試料の酸分解は、下記の方法により行った。ビーカーに試料を約2.5 g量りとり、蒸留水20 ml、(1+1) 塩酸（有害金属測定用；富士フィルム和光純薬工業（以下、和光純薬と略す））20 ml、60%過塩素酸（有害金属測定用；和光純薬）15 ml、硝酸（有害金属測定用；和光純薬）数滴を加えた。250 °Cに加熱した砂浴上で、白煙が生じるまでビーカーを加熱した後、ビーカー上部を時計皿で覆い、さらに10分間加熱した。加熱後放冷し、内容物に蒸留水20 ml、(1+1) 塩酸20 ml、温水100 mlを加え、ろ紙（5B；ADVANTEC）でろ過した。ろ過後、ろ紙および残渣を少量の(1+100) 熱塩酸、および温水で十分洗浄し、その洗浄液もろ液として回収した。洗浄後、ろ液はメスフラスコを用いて250 mlに定容した。ろ紙を回収し、白金るつぼへ入れ、110 °Cで1時間乾燥した。乾燥後、白金るつぼにふたをし、ガスバーナーで徐々に加熱し、ろ紙を炭化させ、十分に炭化した後、灰化した。放冷後、1050 °Cに設定した電気炉で1時間加熱し、ガラスデシケータ内で室温になるまで放冷し、質量を測定した。るつぼ内の残渣に硫酸（有害金属測定用；和光純薬）数滴とフッ化水素酸（特級；和光純薬）10 mlを加え、250 °Cに加熱した砂浴上で、白煙が出なくなるまで、蒸発乾固させた。その後、1050 °Cに設定した電気炉で10分間加熱し、ガラスデシケータ内で室温になるまで放冷し、質量を測定した。フッ化水素酸処理の前後の質量差からSiO₂量を算出し、るつぼ内の最終残存物を不溶残渣とした。

CaOは、EDTA溶液を用いた滴定分析により定量した。石灰試料を酸分解した溶液をビーカーに10 ml分取し、蒸留水120 ml、(1+1) トリエタノールアミン（特級；和光純薬）5 ml、(10 g/100 ml) 硫化ナトリウム（特級；和光純薬）2 ml、NN指示薬（同仁化学研究所）極少量を加えた。スターラーで5分間攪拌しながら、250 g/lの水酸化カリウム（特級；和光純薬）水溶液を溶液の色が赤色を呈するまで加えた。この溶液を0.025 mol/lのEDTA溶液（容量分析用；和光純薬）で滴定を行い、溶液が赤色から青色に変わる量を終点とし、EDTA溶液の滴定量を求めた。

誘導結合プラズマ発光分光分析装置（ICP、サーモフィッシャーサイエンティフィック製；

iCAP6500Duo）を用いて、分解溶液中に含まれるMg、Si、Al、Feの定量を行った。検量線用標準試料には、炭酸カルシウム（Suprapur®；MERCK）2.5 gを10 mlの塩酸で溶解し、250 mlに定容した溶液を使用し、マトリックスマッチングを行った。ICPによる各元素の分析波長は、Fe: 238.204 nm、Al: 396.152 nm、Mg: 279.079 nm、Si: 251.611 nmを用いた。

本実験の追加で行った不溶残渣の分析は、以下の手順で行った。フッ酸処理後のるつぼ内に残った不溶残渣に、炭酸ナトリウム（特級；和光純薬）とホウ酸（特級；和光純薬）を重量比3：1で混合した融剤を0.5 g加え、ガスバーナーで加熱し溶解させた。放冷後、(1+1) 塩酸10 mlを加え溶解し、溶液およびるつぼの洗液を回収し、メスフラスコを用いて50 mlに定容した。この溶液に含まれるAl、Fe、SiをICPにより測定した。検量線用標準試料には、不溶残渣を溶解する際に用いた混合融剤2.5 gを(1+1) 塩酸50 mlで溶解し、250 mlに定容した溶液を使用し、マトリックスマッチングを行った。

JISによる分析と不溶残渣も含めた分析を一試料につき5回ずつ行い、各成分の分析値を求めた。

3 結果と考察

石灰試料中の各成分の分析値は、得られた測定値から下記に示す方法で求めた。ig. lossを除く各成分は酸化物に換算した。

・ ig. loss

石灰試料のig. lossは、次の式により算出した。

$$\text{ig. loss} = \frac{m_1}{m} \times 100$$

ig. loss：強熱減量 (%)

m₁：減量 (g)

m：試料の質量 (g)

・ CaO量の算出

石灰試料に含まれるCaO量は、次の式により算出した。

$$\text{CaO} = \frac{v \times f \times 0.0014019}{m} \times \frac{250}{10} \times 100$$

CaO：酸化カルシウムの含有率 (%)

v：EDTA溶液滴定量 (ml)

f：EDTA溶液のファクタ

m：溶解した試料の質量 (g)

0.0014019：(EDTA標準溶液のmol数) × (Caの原子量: 40.078) × (CaOの分子量: 56.077) / (Caの原子量: 40.078) × 1/1000

・ SiO₂量の算出

石灰試料に含まれるSiO₂量は、次の式により算出

した。JISの分析手法では第2項まで計算を行った。

$$\text{SiO}_2 = \frac{m_1 - m_2}{m} \times 100 + \left(C \times \frac{250}{1000000} \times \frac{M.W. \cdot \text{SiO}_2}{M.W. \cdot \text{Si}} \right) \times \frac{1}{m} \times 100 + \left(C' \times \frac{50}{1000000} \times \frac{M.W. \cdot \text{SiO}_2}{M.W. \cdot \text{Si}} \right) \times \frac{1}{m} \times 100$$

SiO₂ : 二酸化ケイ素の含有率 (%)

m₁ : 沈殿物の質量 (g)

m₂ : フッ化水素酸処理後の残留物の質量 (g)

m : 試料の質量 (g)

C : 酸溶解した試料のICPによる測定値 (ppm)

M.W._{SiO₂} : 二酸化ケイ素の分子量 60.084 (-)

M.W._{Si} : ケイ素の原子量 28.086 (-)

C' : 不溶残渣を溶解した溶液のICPによる測定値 (ppm)

・ MgO量の算出

石灰試料に含まれるMgO量は、次の式により算出した。

$$\text{MgO} = \left(C \times \frac{250}{1000000} \times \frac{M.W. \cdot \text{MgO}}{M.W. \cdot \text{Mg}} \right) \times \frac{1}{m} \times 100$$

MgO : 酸化マグネシウムの含有率 (%)

C : ICPによる測定値 (ppm)

m : 試料の質量 (g)

M.W._{MgO} : 酸化マグネシウムの分子量 40.304 (-)

M.W._{Mg} : マグネシウムの原子量 24.305 (-)

・ Fe₂O₃量の算出

石灰試料中含まれるFe₂O₃量は、次の式により算出した。JISの分析手法では第1項まで計算を行った。

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = \left(C \times \frac{250}{1000000} \times \frac{M.W. \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3}{M.W. \cdot \text{Fe} \times 2} \right) \times \frac{1}{m} \times 100 + \left(C' \times \frac{50}{1000000} \times \frac{M.W. \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3}{M.W. \cdot \text{Fe} \times 2} \right) \times \frac{1}{m} \times 100$$

Fe₂O₃ : 酸化鉄の含有率 (%)

C : 酸溶解した試料のICPによる測定値 (ppm)

m : 試料の質量 (g)

M.W._{Fe₂O₃} : 酸化鉄の分子量 159.688 (-)

M.W._{Fe} : 鉄の原子量 55.845 (-)

C' : 不溶残渣を溶解した溶液のICPによる測定値 (ppm)

・ Al₂O₃量の算出

石灰試料に含まれるAl₂O₃量は、次の式により算

出した。JISの分析手法では第1項まで計算を行った。

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = \left(C \times \frac{250}{1000000} \times \frac{M.W. \cdot \text{Al}_2\text{O}_3}{M.W. \cdot \text{Al} \times 2} \right) \times \frac{1}{m} \times 100 + \left(C' \times \frac{50}{1000000} \times \frac{M.W. \cdot \text{Al}_2\text{O}_3}{M.W. \cdot \text{Al} \times 2} \right) \times \frac{1}{m} \times 100$$

Al₂O₃ : 酸化アルミニウムの含有率 (%)

C : 酸溶解した試料のICPによる測定値 (ppm)

m : 試料の質量 (g)

M.W._{Al₂O₃} : 酸化アルミニウムの分子量 101.961 (-)

M.W._{Al} : アルミニウムの原子量 26.982 (-)

C' : 不溶残渣を溶解した溶液のICPによる測定値 (ppm)

上記の計算式から求めた各成分値について、JISを参考に分析した結果を表1に示し、JISに不溶残渣の分析を追加した結果を表2に示す。

表1 JISに基づく分析値 (%)

分析回	1	2	3	4	5
ig. loss	43.763	43.754	43.631	43.792	43.801
CaO	55.497	54.856	54.950	54.493	54.782
MgO	0.414	0.392	0.385	0.399	0.405
SiO ₂	0.285	0.231	0.237	0.250	0.358
Al ₂ O ₃	0.052	0.056	0.049	0.045	0.049
Fe ₂ O ₃	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063
total	100.074	99.352	99.315	99.042	99.553

表2 不溶残渣の分析を含めた分析値 (%)

分析回	1	2	3	4	5
ig. loss	43.700	43.698	43.694	43.734	43.723
CaO	54.954	55.119	55.126	54.651	54.840
MgO	0.402	0.401	0.402	0.403	0.401
SiO ₂	0.288	0.287	0.285	0.332	0.321
Al ₂ O ₃	0.114	0.116	0.110	0.111	0.113
Fe ₂ O ₃	0.067	0.067	0.067	0.068	0.066
total	99.606	99.862	99.989	99.409	99.974

表1と表2の全ての分析回で、全成分値の合計がほぼ100%となり、適切に分析が出来ていると判断できた。そこで、5回行った分析値から各成分の平均値、標準偏差 (SD; Standard Deviation)、および相対標準偏差 (RSD; Relative Standard Deviation) を

表3 JISに基づく分析値の平均値とSDおよびRSD (%)

	平均値	SD	RSD
ig. loss	43.748	0.068	0.156
CaO	54.916	0.367	0.669
MgO	0.399	0.011	2.819
SiO ₂	0.272	0.052	19.226
Al ₂ O ₃	0.050	0.004	8.141
Fe ₂ O ₃	0.063	0.000	0.000
total	99.448	0.385	0.387

表4 不溶残渣の分析を含めた分析値の平均とSDおよびRSD (%)

	平均値	SD	RSD
ig. loss	43.710	0.018	0.040
CaO	54.938	0.200	0.364
MgO	0.402	0.001	0.208
SiO ₂	0.303	0.022	7.332
Al ₂ O ₃	0.113	0.002	2.117
Fe ₂ O ₃	0.067	0.001	1.055
total	99.532	0.253	0.254

求めた (表3、4)。

石灰の不溶残渣には、FeやAlが含有されていると報告されている⁴⁾。表3および表4の分析値を比較した結果、Al₂O₃の平均分析値は不溶残渣の分析値を含めた場合、約2倍の値を示し、既報のとおり、不溶残渣中にAlが多く残存していることが明らかとなった。一方、Fe₂O₃の平均分析値は、不溶残渣の分析の有無による差は見られず、Feは不溶残渣中に残存していないことが明らかとなった。本実験で用いた石灰石は、岡山県北産（新見地区）であり、鉄分の含有量が極めて少ない鉱山であるため、分析値の差が僅かであったと推察される。

SiO₂の分析値に着目すると、不溶残渣の分析値を含めた値は、約1割増加しており、不溶残渣中にSiが僅かながら含有されていることを確認した。融剤として使用した炭酸ナトリウムは、AlやFeの酸化物の他にケイ酸塩も溶融することが可能であるため、AlやFeだけでなくSiも溶液化化することができ、不溶残渣中のSiが検出できたと考えられる⁵⁾。また、高温で融解している粘性の高い融剤試薬が不溶残渣に直接作用するため、強力で分解できたことも要因としてあげられる。

以上の結果より、本実験で用いた岡山県北産の石灰石の成分分析については、JISの分析手順に不溶残渣の分析を追加することにより、Al₂O₃やSiO₂の分析値のばらつきを最低限に抑えることができ

ることを明らかとした。JISの手法に基づき分析を行った場合、結晶化やフッ化水素酸による処理の終点は、分析者の目視による確認であるため、Al₂O₃やSiO₂の分析値のばらつきに起因していると推察される。Al成分は、酸化を伴う溶解の場合、不動態を形成しやすく残渣になりやすい性質がある。Si成分のフッ化水素酸処理は、SiをSiF₄として揮発・分解させるため、この揮発させる時間が不十分であると残渣になりやすいので、十分注意する必要がある。不溶残渣を追加で分析することは、結晶化やフッ化水素酸処理により、十分処理しきれなかったAl₂O₃やSiO₂成分を再捕集することに繋がり、分析回ごとの誤差を最低限に抑えることができ、SD値やRSD値が低下したと推察される。Al₂O₃やSiO₂は石灰石中の微量成分であり、不溶残渣の分析を追加しても全量は大きく変化しないが、各元素の分析値に着目すると、Al₂O₃やSiO₂のように、影響が大きい成分が存在していることが分かった。

4 まとめ

湿式法による石灰の定量分析について検討を行った。JIS R 9011の分析手法を基に、分析中に生じる不溶残渣に着目し分析を行った。炭酸ナトリウムとホウ酸を重量比3:1で混合した混合融剤を使用し、不溶残渣を溶融・溶液化したものをICPで測定した。その結果、不溶残渣にはAlやSiが多く含まれていることが分かり、不溶残渣の分析を行うことにより、Al₂O₃やSiO₂の分析値のばらつきを抑制することができた。この結果より、JIS R 9011の分析手順に、不溶残渣の分析を追加することにより、より高精度な石灰の定量分析が可能であることが明らかとなった。今後、組成比の異なる石灰の定量分析を継続して用い、検体数を増やすことにより、蛍光X線分析用の石灰標準試料として、利用可能な検体を選択する予定である。

参考文献

- 1) 日本石灰協会編：“石灰ハンドブック”，日本石灰協会 p.653 (1992)
- 2) “石灰石分析方法：JIS M 8850”，財団法人日本規格協会，東京(1994)
- 3) “石灰の試験方法：JIS R 9011”，財団法人日本規格協会，東京(2006)
- 4) 日本分析化学会編：“分析化学便覧(改訂5版)”，丸善(2001) p.55
- 5) 松本健：ぶんせき，2，60 (2002)

技術資料

伝導ノイズを対象とした簡易測定システムの実装

Implementation of simple measurement system for conducted emissions tests

若槻 友里

Yuri WAKADUKI

キーワード 伝導ノイズ / 簡易測定 / 高速フーリエ変換

KEY WORDS Conducted emissions / Simple measurement / Fast Fourier Transform

1 はじめに

電子機器の電源線等を介して他の機器へ伝わる伝導ノイズは機器の誤動作の原因となり得るため、国際規格であるCISPRでその限度値が定められている¹⁾。電子機器製品に対しては伝導ノイズの測定を実施して、その大きさを評価しなければならない。この測定は電波暗室で行いレシーバ等の測定器を用いることが規格で定められており、1回の測定にかかるコストが大きい。EMC設計や対策を目的として事前実験を繰り返し行う場合であれば、コストの高い設備を極力使用せずに、オシロスコープ等の測定器を用いる簡易測定が有用である。

一般的なデジタルオシロスコープは信号波形を取得する機能と、それに対して周波数解析を行う機能を備えている。しかしこの周波数解析機能はノイズ測定に最適化されたものではない。そこで本研究では、オシロスコープで取得したノイズ波形に対して、自作の解析ソフトウェアで周波数解析を行う簡易測定システムを検討している。本報告ではその実装について報告する。

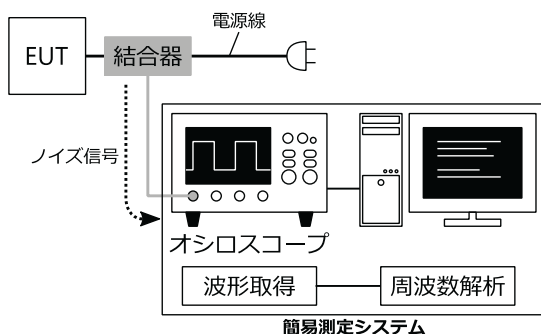
2 簡易測定システムの構成

2.1 システム構成

図1に簡易測定システムの構成を示す。EUT (測定対象)の電源線を伝達するノイズ信号をLISN (疑似電源回路網) や電圧プローブ等の結合器によって取り出し、その時間波形をオシロスコープで取得する。取得した波形データをPCに取り込み、自作の解析ソフトウェア上で周波数解析を行う。

2.2 外観

図2に簡易測定システムの外観を示す。また表1



に機器の一覧を示す。今回はオシロスコープの代替として、PCに内蔵したA/D変換ボードADM-214EXを使用した。取り込んだ波形データはメモリ上に保存され、解析ソフトウェアでそれを直接読み込んで処理することができる。ADM-214EXの主な仕様を表2に示す。ADM-214EXの1ボードあたりのチャンネル数は2だが、今回は2ボード使用して4チャンネルとしている。

表1 使用機器一覧

名称	メーカー	型番
デジタル オシロスコープ	AVAL DATA	ADM-214EX
波形発生器	Agilent	33220A

表2 ADM-214EXの仕様

項目	値
サンプリング周波数	20 MHz~250 MHz
ビット長 (1ポイントあたり)	14 bit
チャンネル数	4 ch (2 ch×2)

3 解析ソフトウェアの作成

3.1 処理の流れ

図3に作成した解析ソフトウェアの処理フローを示す。解析ソフトウェアではオシロスコープの制御から波形の周波数解析までの処理を行う。

まず測定条件のパラメータを設定し、オシロスコープで波形データを取得する。測定条件のパラメータとしてはサンプリング周波数やポイント数、トリガ設定、ゲート時間、窓関数の設定等が挙げ



られ、これらのパラメータは測定精度に影響する。取得した波形に対して、周波数解析の前処理としてゲート処理および窓処理を行う。ゲート処理は開始時間と終了時間を指定し、その間の時間分の波形を切り出す処理である。切り出された波形に対して窓関数をかける処理を窓処理と呼ぶ。

最後に、前処理を施した波形にFFT（高速フーリエ変換）処理を行い、周波数スペクトルを求める。

3.2 実装

図4に実装した解析ソフトウェアの内部構成を示す。3.1で述べたそれぞれの処理は個別にモジュール化し、それら呼び出して実行するメイン処理を作成した。メイン処理では標準入力からコマンドを読み込み、その内容を判別して処理を行う。実装したコマンドの一覧を表3に示す。

プログラムはPythonで記述し、Windows OSのコマンドプロンプトから起動するように設計した。

表3 コマンド一覧

コマンド	動作
set [param] [value]	[param]で指定したパラメータを[value]に設定する
start	測定を開始する
help	ヘルプを表示する
quit	ソフトウェアを終了する

4 簡易測定システムの動作確認

簡易測定システムの動作確認のため、図2の測定系で実験を行った。広帯域ノイズの測定を想定し、波形発生器から周波数100 kHz、振幅200 mV_{p-p}の方形波を出力して測定を行った。同様の実験を市販

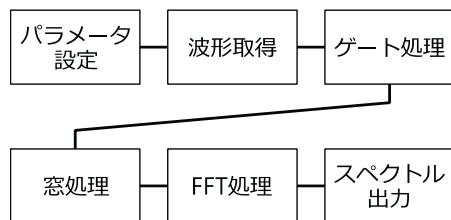


図3 解析ソフトウェアの処理フロー

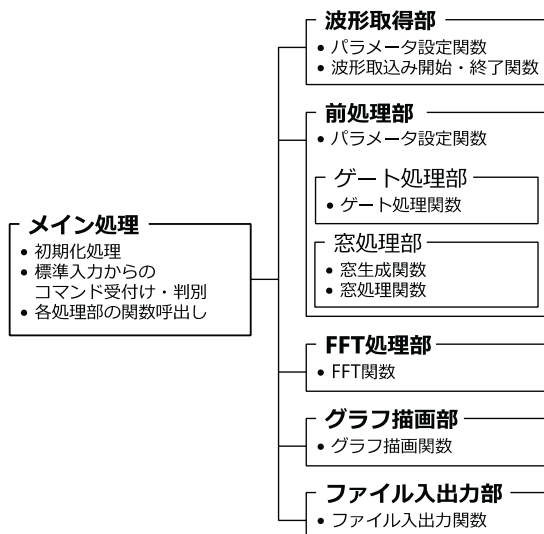


図4 解析ソフトウェアの構成

のオシロスコープ（Tektronix製MSO3014、以下MSO）を用いても行い、測定結果を検証した。比較のため、測定条件は簡易測定システムとMSOで同じ値に設定し、サンプリング周波数250 MHz、ポイント数10万点、立ち上がりトリガで波形を取得した。また周波数解析に関する設定も同様に、ゲートは全取得時間、窓関数は矩形窓とした。

図5に取得した時間波形を、図6に周波数解析結果を示す。簡易測定システムとMSOではほぼ同等の結果が得られた。図5の電圧レベルのずれはMSOの内部オフセットの影響と考えられる。図6の30 MHz付近でMSOのレベルが増大しているのは、図5の波形に重畳しているノイズ成分の影響と見られる。装置のノイズフロアの測定を行い、このノイズ成分はMSO内部のノイズであることを確認した。

5 まとめ

伝導ノイズ試験の事前測定を目的とした簡易測定システムを構築し、解析プログラムを実装した。動作確認のために波形発生器から出力した方形波を測定し、市販のオシロスコープと同等の結果が得られることを確認した。

今後、簡易測定システムを用いて測定条件のパラメータを変えながら実験を行い、ノイズ測定に最適なパラメータを求める予定である。

参考文献

- 1) ”国内答申された CISPR 規格”，総務省，
<https://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/inter/cispr/cisprkikaku.htm>

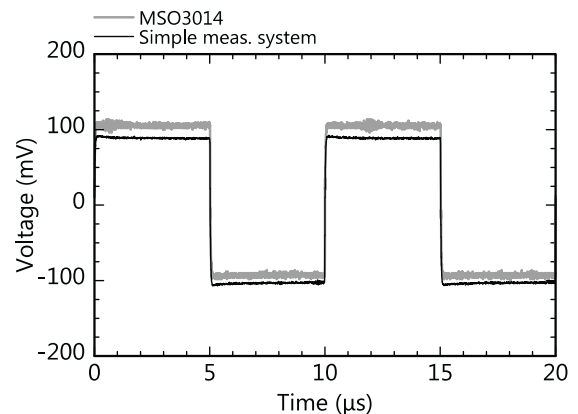


図5 時間波形

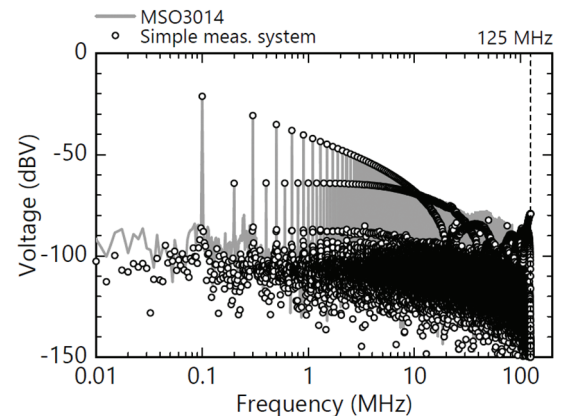


図6 周波数スペクトル

進行波搬送システムに関する実験と数値解析

Experiments and numerical analyses of traveling wave carrier system

岩田 和夫・眞田 明

Kazuhiro IWATA, Akira SANADA

キーワード 進行波 / 有限要素法 / 数値解析 / ウェーブマシン

KEY WORDS Traveling wave / Finite element method / Numerical analysis

1 はじめに

大量生産を行う組立工場などでは、生産性向上のために生産ラインを自動化する搬送機械と供給装置が多数用いられている。小型部品の供給装置にはパーツフィーダーがよく用いられるが、部品形状ごとに分離機と整列機の調整が必要であり、多大なコストがかかる問題がある。そのため、簡便・低コストで分離・整列ができる供給装置が求められている。

本研究では、様々な部品形状に対応できる物体搬送・供給システムの開発を目的とする。搬送と部品の整列を同時に行えるシステムとして、理科教材等に用いられるシャイブ式ウェーブマシンに着目した。このウェーブマシンは複数の振動子をその中央のねじり梁で繋ぎとめた構造である¹⁾。この振動子を上下に揺らすことで、振動子の慣性とねじり梁の弾性により、横波の伝播や反射、重ね合わせを簡便に観察することができる。また、振動子を揺らす大きさや周期を変えることで、進行波の振幅と波長を変化させることも容易である。本報告では、このウェーブマシンの進行波の凹凸を利用し、物体の搬送が行えるかを、実験及び有限要素法を用いた遷移状態動解析により検討した。

2 搬送原理

本システムの搬送原理を図1に示す。質量 m の搬送対象物が設置されている搬送面に、振幅 h 、搬送対象物との相対速度 v の進行波が発生した時、搬送対象物はウォータースポーツのサーフィンのように搬送される。この時、搬送対象物が進行波によって搬送されるのは、搬送対象物に最初の進行波が到達した際に、山を乗り越えないことが条件となる。摩擦を考慮しない場合、エネルギー保存則から以下のような式が成り立つ。

$$\frac{1}{2}mv^2 < mgh \quad (v>0) \quad (1)$$

(1)式を整理すると、

$$0 < v < \sqrt{2gh} \quad (2)$$

となる。(2)式から、進行波によって対象物が搬送されるには、振幅が大きく、伝搬速度が十分遅いウェーブマシンを作製する必要がある。また、摩擦が無く、理想的な進行波の場合、搬送対象物の質量は、搬送の可否に影響がないことも分かった。

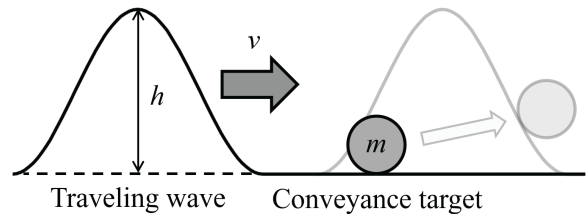


図1 進行波搬送システムの搬送原理

3 搬送システムの作製と実験

振幅を大きくでき、伝搬速度が遅くなるように作製したウェーブマシンの側面図を図2に示す。ウェーブマシンの振動子は直径8 mm、長さ420 mmのステンレス円柱とし、20 mm間隔で上下20セットを配置している。また、振動子が固定されているねじり梁は幅20 mm、厚さ0.4 mmのステンレス板である。

作製した搬送システムの外観を図3に示す。この搬送システムは前述のウェーブマシンを2つ作製し、それぞれを±20度ずつ傾け、一方を伝搬方向に10 mmずらし、中心間距離を300 mmまで近づけた構造となっている。このような配置にすることで、振動子が大きく傾いたときでも、搬送対象物が左右から落下するのを防ぐことができる。作製した搬送システムの最大搬送距離は約400 mmである。

作製した搬送システムを用いて、1インチ球の搬送実験を行った。実験に用いた3種類の1インチ球を図4に示す。左側のポリエチレン球の質量は7.70 g、中央のガラス球の質量は20.5 g、右側のクロム鋼球の質量は66.8 gである。1インチ球を振動子片端から30 mmの位置に設置し、十分な振幅の進行波を発生させたときの1インチ球の

搬送距離を測定した。

実験の結果、ポリエチレン球とガラス球は搬送可能距離370 mmを移動後に反対の端部から落下した。また、クロム鋼球は250 mm搬送後に停止した。これらの結果から、軽量の物体は最後まで搬送可能であるが、重量物になると搬送可能距離が短くなるのが分かった。この原因を明らかにするため、有限要素法を用いた遷移状態動解析により、搬送システムと球の詳細な動きを明らかにした。

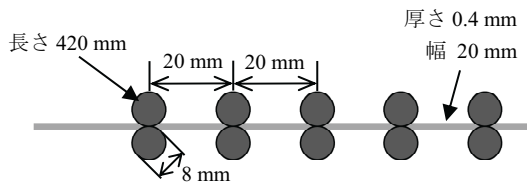


図2 ウェーブマシンの側面図

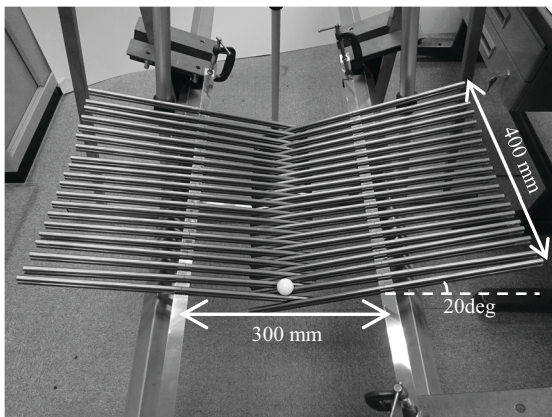


図3 搬送システムの外観



図4 搬送対象となる3種類の1インチ球

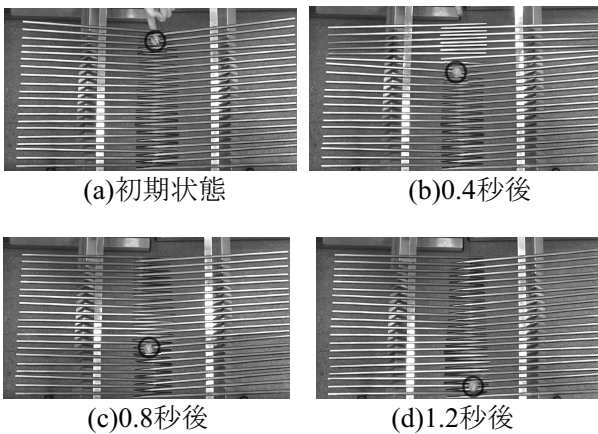


図5 ガラス球が搬送される様子

4 遷移状態動解析の結果

図6に搬送システムの有限要素モデルを示す。解析には汎用解析ソフト Marc (MSC Software) を用いた。計算負荷を下げるために、振動子には直径を8 mmに設定した梁要素のBAR2、球には六面体要素のHEX8を用い、ねじり梁のステンレス板は厚さを0.4 mmに設定した二次シェル要素のQUAD8を用いた。振動子同士の接続、ねじり梁と振動子の接続には剛体要素のRBE2を用いた。球のみに-z軸方向の重力加速度9.8 m/s²を加え、中央部のステンレス板両端の4か所を固定拘束した。また、振動子と球にのみ接触を定義し、接触した時の摩擦は無いものとした。解析に用いた各材料定数を表1に示す。実験と同様に球の中心を振動子片端から30 mmの位置に設置し、十分な振幅の進行波を発生させることで、遷移状態動解析による物体搬送を行った。

図7にガラス球を搬送した際の初期状態、0.5、1.0、1.5 秒後における有限要素モデルの外観を、図8に解析によって求めた3種類の1インチ球中心の軌跡を示す。図8における丸マーカーは各球の0.5秒後、四角マーカーは1.0秒後、三角マーカーは1.5秒後の変位を示す。これらの結果から、ポリエチレン球は軽量なため、振動子によって大きく跳ね飛ばされながら搬送されており、ガラス球とクロム鋼球は鉛直方向には大きな変位は起こさずに搬送されていることが分かった。また、クロム鋼球は実験と同様に、解析においても最後まで搬送できず、280 mm搬送後に振動子の隙間から落下した。

解析結果から、クロム鋼球を搬送している進行波を確認すると、振幅が徐々に小さくなっていくことが分かった。これより、重いクロム鋼球が固定端と同じような役割をすることで進行波の一部が反射し、徐々に進行波の振幅が小さくなることで、式(2)の搬送条件を満たせなくなったことが、クロム鋼球の搬送距離が短くなった原因と考えられる。

表1 解析に用いた各材料定数

	ヤング率 [GPa]	ポアソン 比	密度 [g/cm ³]
中央部・振動子 (ステンレス)	207	0.29	7.83
1インチ球 (ポリエチレン)	1.00	0.40	0.90
1インチ球 (ガラス)	71.6	0.23	2.39
1インチ球 (クロム鋼)	207	0.29	7.79

5 まとめ

シャイブ式ウェーブマシンを基とした進行波搬送システムを作製し、球の搬送を確認した。また、搬送が可能な場合とそうでない場合の現象の違いを明らかにするため、遷移状態動解析を行った。その結果、搬送対象物が重い場合、進行波は徐々に小さくなり、搬送できなくなることが分かった。今後は、搬送により適した進行波の波形について実験と解析で検討する予定である。

参考文献

1)伊藤信隆：物理教育 18 巻 1 号 p.23-33 (1970)

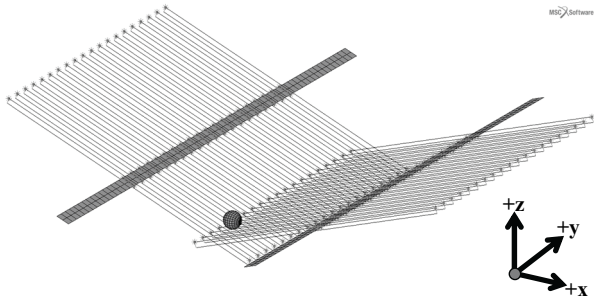


図6 有限要素モデルの外観

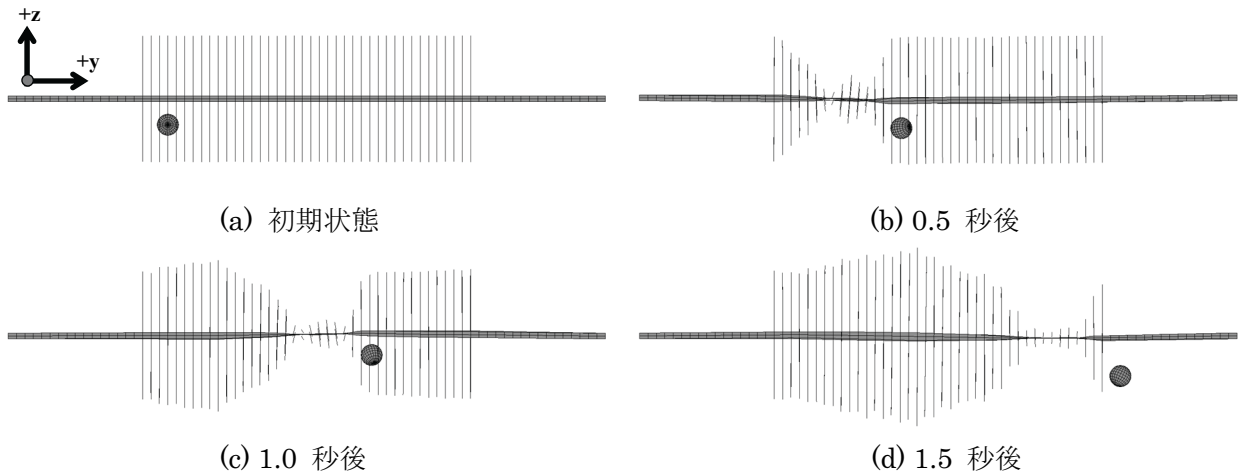
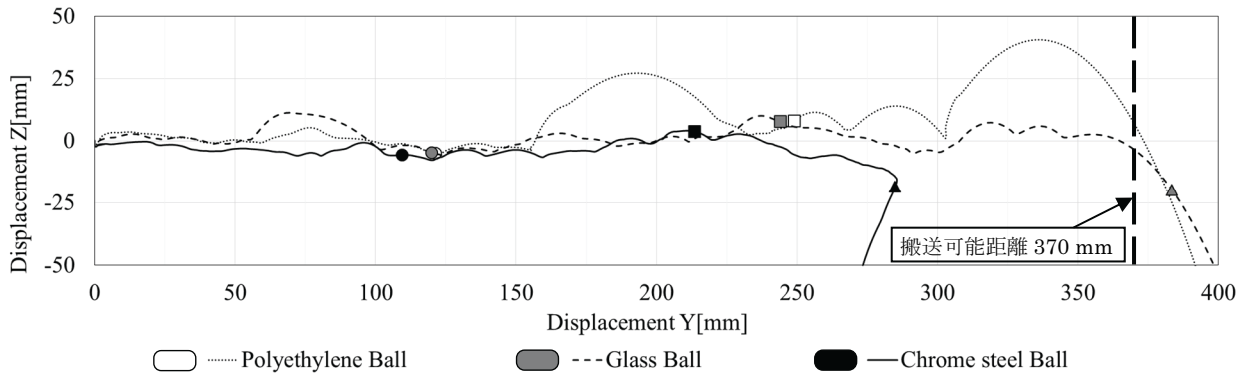
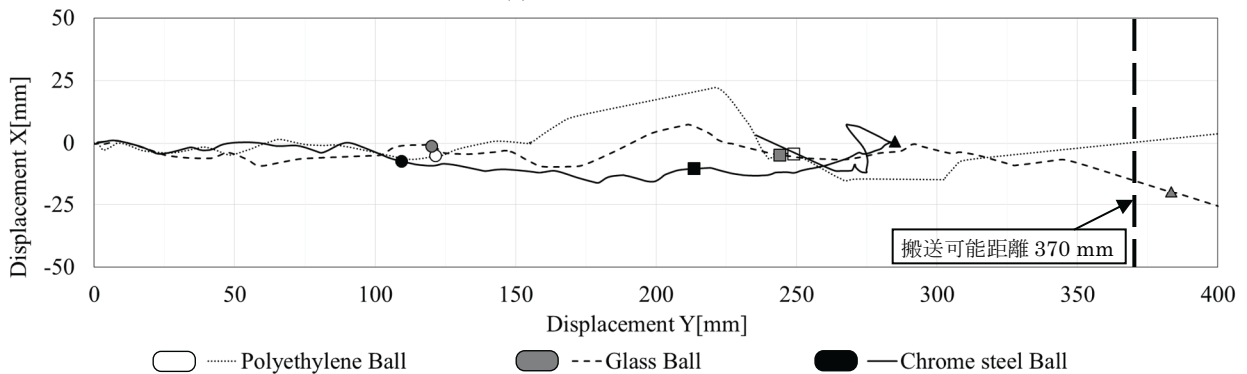


図7 遷移状態動解析でガラス球を搬送した際の有限要素モデルの外観



(a)側面から見た軌跡



(b)上方から見た軌跡

図8 解析によって求めた3種類の1インチ球中心の軌跡

水中構造物用の実験モーダル解析における

打撃力の高精度計測

High Accurate Measurement of Exciting Force in Experimental Modal Analysis for Underwater Structure

辻 善夫・眞田 明・岩田 和大・櫻井 貴哉¹・井上 俊之¹

Yoshio TSUJI, Akira SANADA, Kazuhiro IWATA, Takaya SAKURAI and Toshiyuki INOUE

キーワード 実験モーダル解析 / 水中構造物 / 衝撃加振

KEY WORDS Experimental Modal Analysis / Underwater Structure / Impact Excitation

1 はじめに

自動車、航空機をはじめとする機械構造物の低振動・低騒音化を行うため、その振動特性を計測する実験モーダル解析が行われている。しかしながら、船舶部品や水中マニピュレータ等の水中構造物の実験モーダル解析¹⁾の場合、加振力を与えるために一般的に用いるインパルスハンマや加振機および加速度を計測するセンサに防水対策が求められる。そのため、水中構造物の実験モーダル解析の実施は困難が伴う。この課題を克服するため、レーザーアブレーションを用いて構造物を加振し、レーザードップラー振動計によって振動加速度を計測する非接触振動実験法²⁾も研究されている。

我々はこれまでに、防水型ひずみゲージによって構成した力センサと、加速度ピックアップ（以下、ピックアップ）に簡易的な防水対策を施すことにより、水中構造物用の実験モーダル解析システムを製作し、水中に沈めた供試体の周波数応答関数（以下、FRF）を計測できることを確認した³⁾。

しかしながら、製作したシステムにおいて、加振力と加速度との相関が低く、計測信頼性に課題があった。この原因として、力センサの感度不足や防水対策の影響、加速度ピックアップと供試体との吸着力不足が考えられる。そこで本研究では、システムを高精度化するため、力センサの高感度化およびピックアップの防水対策の改良を行った。以下にその内容を報告する。

2 力センサの高感度化

図1に改良した防水型力センサを示す。起歪部であるアルミ角棒の両側面に、半導体ひずみゲージ（共和電業製 KSPB-2-120-E4）を各1枚貼り付け、それを防湿コーティング剤（共和電業製ブチルゴム系パテ AK-22）で覆った（以下、改良型力センサ）。半導体ひずみゲージは、従来用いていた防水型汎用ひずみゲージと比較し約60倍高感度であるため、S/N比が向上すると考えられる。

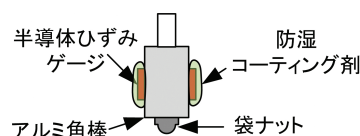


図1 改良型防水力センサ

3 ピックアップの防水対策の改良

図2に防湿コーティング剤でピックアップの接続部を覆い防水対策を施したピックアップ（以下、改良型防水ピックアップ）を示す。ピックアップ底面にはネオジウム磁石をネジ止めしており、磁性を持つ供試体に直接吸着させた。また、供試体为非磁性体の場合、シール付SUS403プレート（厚さ0.1 mm）を貼り、プレートにピックアップを吸着させた。これにより、従来、防水のために用いていたポリエチレン袋が不要となり、作用する浮力などの影響が低減できると考えられる。また、ネオジウム磁石とSUSプレートとの間に介在物が無くなったため、吸着力が増加すると考えられる。

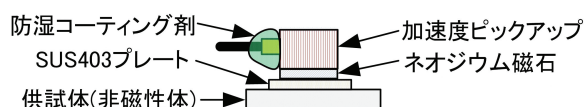


図2 改良型防水ピックアップ

4 実験システム

改良型力センサおよび改良型防水ピックアップ（以下、これらを改良型センサ系、従来のものを従来型センサ系とする）の有効性を検証するため、図3に示す水中構造物用実験モーダル解析システムにおいて、改良型センサ系および従来型センサ系を用い、大気中および水中に沈めた供試体の加振実験を行う。フレームに加振機（ブリュエル・ケアー製 4809）を吊り下げ、ロッドを介して力センサを装着した。加振機の制御信号として10 Hz、1周期長さの正弦波波形を与え、供試体を1回打撃する。また、加振力が約5 Nとなるようにアンプのゲイン調整を行った。FFTアナライザの計測条件は周波数

¹ ナカシマプロペラ(株)

スパン：800 Hz、ライン数：6400とし、加振力データのS/N比を向上させるため、加振前後の主に10 msの信号を採用するようにトランジェント窓を設定したうえで、10回の線形平均処理を行った⁴⁾。供試体は磁性体であるが、水中での作業性を考慮し、加速度計測点にSUSプレートを貼った。供試体は弾性支持し、大気中で加振する場合には、水槽を取り除いた。

5 実験結果

図4に、大気中の供試体を、本システムにて改良型センサ系を用いて得たFRFを実線、実験モード解析において一般的に使用するインパクトハンマで加振して得たFRFを点線で示す。図5にそれぞれの加振方法における、加振力と加速度の相関を表すコヒーレンスを示す。改良型センサ系を用いて得た固有振動数とFRFの形状は、ハンマ加振で得た値にほぼ一致し、コヒーレンスも1に近いことから、高精度な計測が可能であることが確認できた。なお、SUSプレートをを用いず、供試体に加速度ピックアップを接着剤で直接固定して得たFRFとの間に、差は生じなかった。

図6に、水中に沈めた供試体を改良型センサ系と従来型センサ系を用いて加振した場合のFRF、図7にコヒーレンスを示す。従来型センサ系では相関が大幅に低下するのに対し、改良型センサ系では、計測した全ての周波数帯域で、相関が高い計測が可能であることが分かる。また、従来型センサ系においてFRFの振幅が低下した原因として、ポリエチレン袋でピックアップを覆ったことにより、浮力の影響を大きく受けることや、供試体への吸着力の低下等が想定されたが、改良型センサ系では、これらの影響を低減できたと考えられる。

6 まとめ

水中における構造物の振動伝達特性を実験的に明らかにする水中構造物用実験モーダル解析システムの計測精度を向上するため、システムの改良を行った。具体的には、力センサを高感度半導体ひずみゲージを用いて構成した。また、加速度ピックアップを防湿コーティング剤で覆い防水対策を行うことにより、浮力の影響を受けにくくなった。これらの改良により、信頼性の高い水中構造物の振動伝達特性計測が可能となった。今後、改良したシステムを用いて、水中構造物の振動特性を計測し、製品の低振動化、低騒音化を目指す。

参考文献

- 1) Shivang Shekhar, Sudhanshu Nahata, and O.Burak Ozdoganlar : Proc. Of the Society for Experimental Mechanics (2018)
- 2) 細矢 直基, 矢作 修一, 梶原 逸朗 : 日本機械学会論文集(C), 78, 791(2012)
- 3) 辻 善夫, 眞田 明, 岩田 和太, 櫻井 貴哉, 井上 俊之: "水中構造物用実験モーダル解析システム

の開発", 岡山県工業技術センター報告第45号, 15, (2019)
 4) 長松昭男: "モード解析入門", コロナ社 (2012)p.313

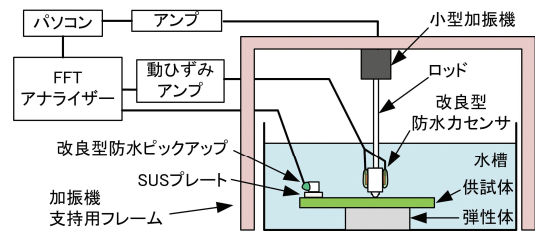


図3 水中構造物用実験モーダル解析システム

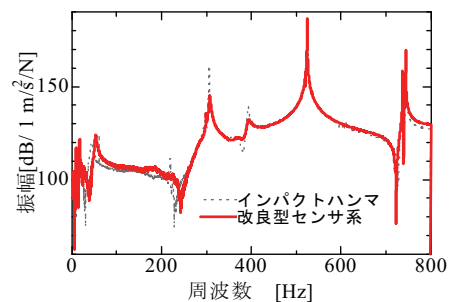


図4 周波数応答関数 (大気中)

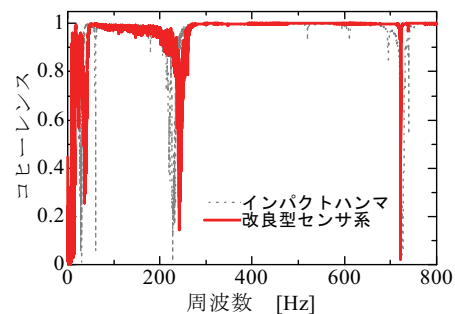


図5 コヒーレンス (大気中)

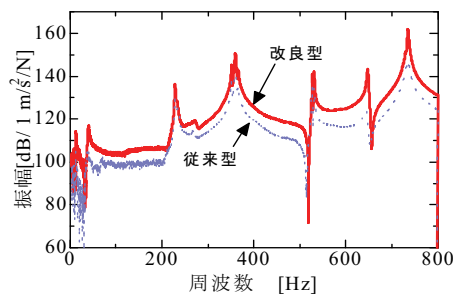


図6 周波数応答関数 (水中)

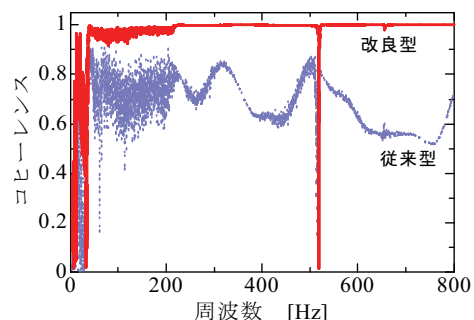


図7 コヒーレンス (水中)

清酒製造場由来の野生酵母の耐酸性

Acid Tolerance of Wild Yeast Derived from Manufacturing Setting of Sake Brewery

伊藤一成・谷野有佳・三宅剛史

Kazunari ITO, Yuka TANINO and Tsuyoshi MIYAKE

キーワード 野生酵母 / 耐酸性 / 生育
KEY WORDS wild yeast / acid tolerance / growth

1 はじめに

各工程を開放系で作業する清酒製造では、その現場環境に多く存在する野生酵母^{1,2)}を排除し清酒酵母のみを活動させることが求められる。清酒酵母を選択的に増やす酒母工程では、乳酸の添加もしくは乳酸菌による乳酸生成により、酸性環境を作り出すことで細菌や酸に弱い野生酵母を淘汰している。その後の仕込工程では、段仕込みにより急激な酸の希釈を防ぎ、清酒酵母の優先的な増殖と活動を促している。しかし、これらの工程で酸に耐性のある野生酵母が混入すると、製造期間中に長く生き残り、清酒製造に悪影響を及ぼすうえ、それによる香味への影響も懸念される。したがって、酸にどれだけ耐性（耐酸性）を持つ野生酵母が製造場内に存在するか把握しておくことは、適切な発酵管理に重要である。

これまでに我々は同一酒造場から採取した野生酵母を同定し、その酵母菌叢について報告した³⁾。本報では、これらの野生酵母から選択した代表菌株の耐酸性に関する調査結果を報告する。

2 実験方法

供試菌には、岡山県内の一製造場で採取した同定済みの野生酵母³⁾から選択した菌株（5種、9株）を使用した（表1）。対照菌株として、清酒酵母のきょうかい701号(K701)、きょうかい901号(K901)、岡山県が保有する白桃酵母HN2株を使用した。

前培養はYPD培地（酵母エキス1%、ペプトン2%、グルコース2%）5 mLを試験管に分注し、これに酵母を1白金耳植菌した後、30°Cで2日間静置培養した。本培養は酸度が2、4、8、12となるように乳酸を添加した新たなYPD培地10 mLを用意した（表2）。酸度とは、検体10 mLを0.1N NaOHで滴定し、pHが7.2になったときのNaOHの滴定量（mL）と国税庁所定分析法に定義されている⁴⁾。YPD培地に乳酸を表2の通り含む培地に、細胞数が初発 1×10^6 個/mLとなるように前培養物を加え、30°Cで9日間静置培養した。この間、1、2、5、9日目に培養物をよく攪拌した後、サンプリングを行い分光光度計

表1 出現率と使用菌株

菌名	出現率	使用菌株
<i>Wickerhamomyces anomalus</i>	53%	10-9-1 11-A-6-1
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	31%	T1 11-A-19-2
<i>Candida famata</i>	6%	10-1-1 10-1-2
<i>Candida guilliermondii</i>	6%	H1 H2
<i>Candida valida</i>	3%	11-B-19-3

表2 滴定に使用した YPD 培地の乳酸量（酸度）と pH

YPD 10mL に含まれる乳酸量 (mL)	pH 7.2 にするのに必要な 0.1N NaOH (mL) = 酸度	pH
0	0.04	6.66
0.1	2.06	3.41
0.2	4.07	3.09
0.4	8.03	2.83
0.6	12.00	2.61

※酸度は国税庁所定分析法⁴⁾の pH 計による方法で測定した。

BioSpec-mini（島津製作所）で600 nmの波長で濁度を測定し、これを酵母の生育度とした。

3 結果と考察

清酒酵母3株（図1）は、乳酸未添加の場合と比べ生育度が酸度2と4で70%程度まで低下し、2日目ではほぼ最高に達した。酸度8では生育が緩慢になり酸度12では培養期間中全く生育しなかった。サンプリング時の攪拌で、乳酸未添加及び酸度2と4は、1、2日目で炭酸ガス発生による起泡がみられ、細胞活動が活発であることが確認できた。一方、生育が落ち着く5日目以降では起泡はあまり確認できなかった。

清酒酵母と同じ*Saccharomyces cerevisiae*として同定されたT1株と11-A-19-2株（図2）は、清酒酵母と似た増殖曲線であったが、酸度8の生育度で比べるとT1株より11-A-19-2株の方が良かった。泡の発生

度合いはどちらの株も清酒酵母と同様の傾向であったが、11-A-19-2株のほうが高酸度側で良く起泡した。同じ菌種間でも株の違いで性質が少し異なっているようであった。

Wickerhamomyces anomalus (10-9-1株、11-A-6-1株: 図3) は、1日目の生育度が清酒酵母より低いが、5日目まで同等となり、9日目では逆転していた。また、9日目以降もさらに上昇し続けそうなプロファイルだった。特に11-A-6-1株は9日目において酸度4で18.0と極端に大きな値で、酸度8でも5日目以降の生育度が急上昇した。この理由は不明であるが、耐糖性及び耐アルコール性試験でも同じように上昇していた^{5, 9}ことから、様々なストレスに耐性を持つ株だと言える。一方、10-9-1株は酸度8ではほとんど生育しなかった。この種でも株の違いで耐酸性に大きく差があることが分かった。両株とも乳酸未添加及び酸度2と4で泡を生じたが、*S. cerevisiae* と異なり5日目までピークだった。また、乳酸未添加及び酸度2と4で、2日目に培地液面に膜が生じはじめ(産膜)、11-A-6-1株は培養が進むにつれ非常に厚い膜を生じた。

Candida famata (10-1-1株、10-1-2株: 図4) は、他の酵母と比べ生育が非常に悪かった。この菌種も酸度8と12では全く生育しなかった。また、9日間の培養期間中に乳酸未添加及び酸度2で、生育度が一定になることはなく上昇し続けた。両株とも培養期間中、泡を生じることはなかった。

Candida guilliermondii (H1株、H2株: 図5) は培養初期では生育が非常に遅く、5日目以降、生育が進んでいた。9日間の培養期間中、乳酸未添加及び酸度2と4は生育し続け、酸度8と12では全く生育しなかった。両株ともに乳酸未添加より酸度2と4のほうが生育度に良い傾向が見られ、ある程度低いpHの方が良く生育することが確認できた。また、起泡は両株とも確認できなかった。

Candida valida (11-B-19-3株: 図6) は、乳酸未添加及び酸度2と4では、1日目から非常に良く生育し、5日目でも生育が続き、その後9日目では落ち着いた。酸度8でも、5日目以降の生育度がかなり上昇した。泡は酸度4以下で1日目から生じ、5日目からは起泡が落ち着いた代わりに、懸濁が困難なほど細胞が凝集した。

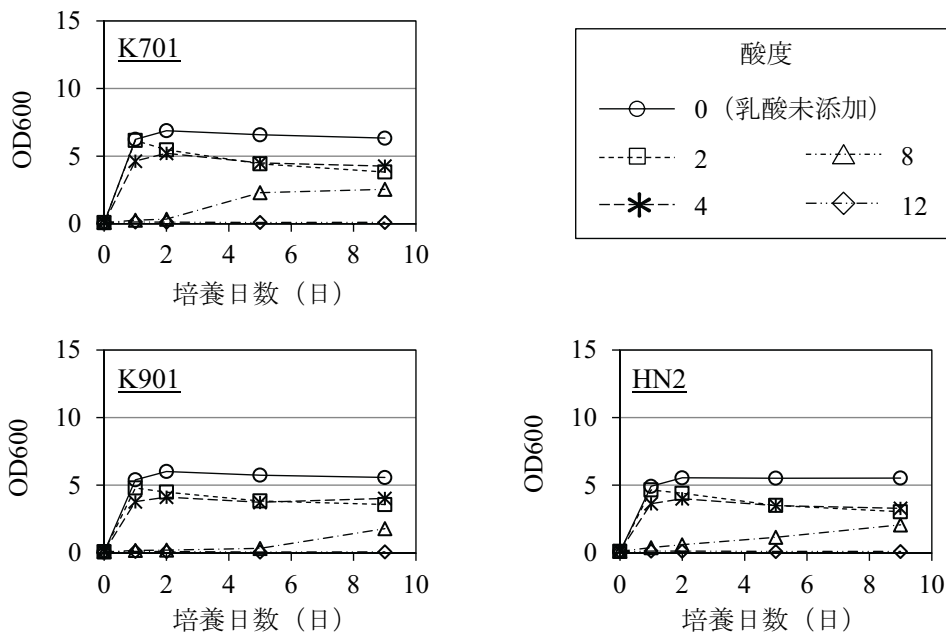


図1 清酒酵母の増殖曲線

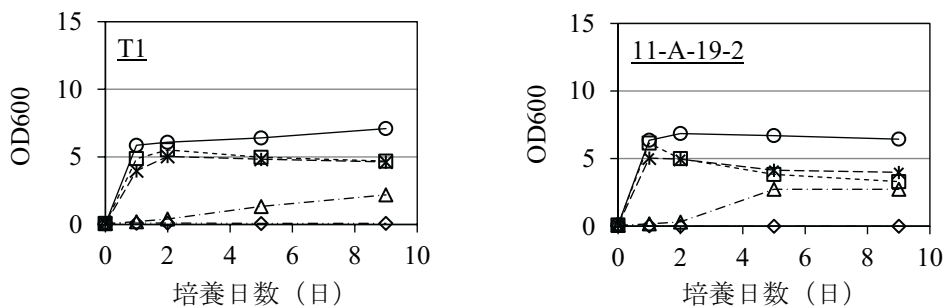


図2 *S. cerevisiae* の増殖曲線

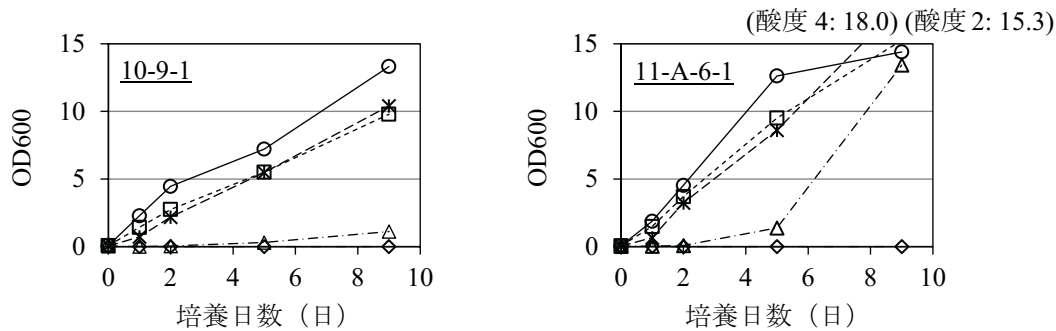


図3 *W. anomalus* の増殖曲線

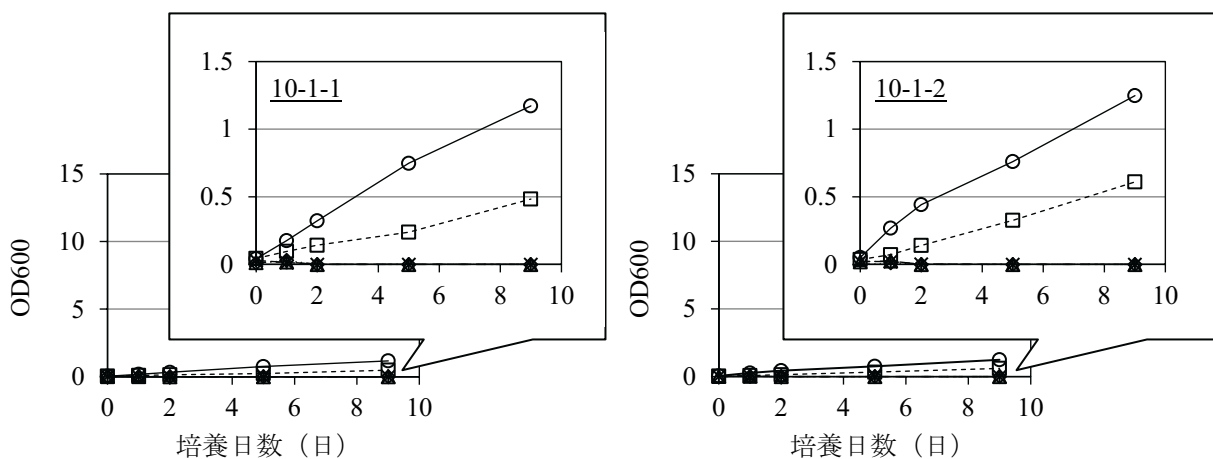


図4 *C. famata* の増殖曲線

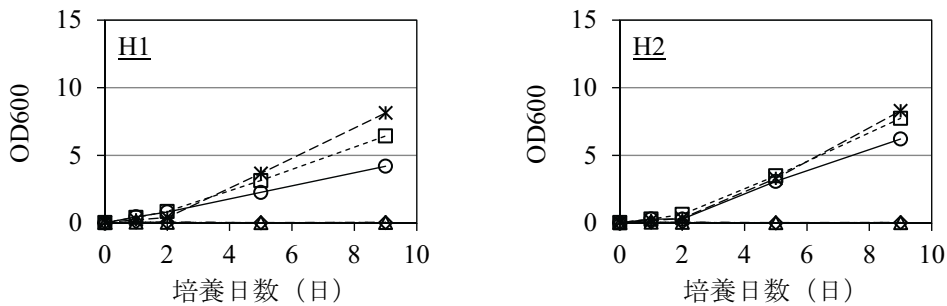


図5 *C. guilliermondii* の増殖曲線

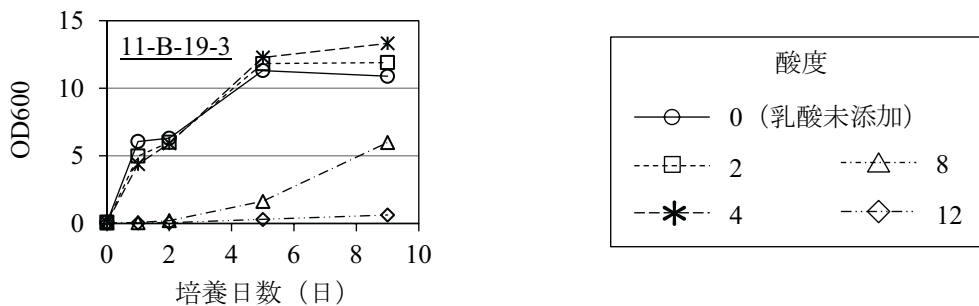


図6 *C. valida* の増殖曲線

以上、本研究で試験した9株を総合的に見てみると、生育度に差があるものの、おおよそ酸度8以上で生育が抑制されることが分かった。しかし、清酒酵母と同じ*S. cerevisiae*であるT1株と11-A-19-2株、*W. anomalus*の11-A-6-1株、*C. valida*の11-B-19-3については、酸度8でも清酒酵母を超えるような生育がみられた。

4 まとめ

今回試験を実施した野生酵母は、清酒製造工程で想定される高い酸度に対する耐性が一部存在した。一般的に酒母の酸度は最大で7~11程度まで上昇^{7,8)}する。もろみでは三段仕込み直後には1以下に薄まるが、最終的に2~2.5程度になる⁹⁾。もろみ工程では酵母の密度がほぼ上限にまで達しているため、野生酵母の汚染の可能性は、その前工程である酒母工程のほうがはるかに高い¹⁾。近年の主流である速醸もと造りでは、酒母工程初期に乳酸を添加するため、初めから低pHで酒母工程が開始され、その後酵母が有機酸を生産しさらに酸度が上昇する。そのため、酒母工程の初期には注意を要するが、多少の野生酵母が混入しても問題となることはほとんどない。一方、伝統的な製法である生もと造りや山廃造りでは、酒母工程初期で乳酸菌による乳酸生産を待つため、工程開始時には酸がほとんどなくpHが中性付近である。この清酒酵母が増える前の時期に耐酸性の酵母が混入すると生き残り、もろみ工程に移行する危険性は十分に考えられるため、細心の注意が必要である。

また、発酵が進めば麹菌の酵素によってデンプンから生じたグルコースが蓄積し、高い糖濃度環

境になる。一方、生じたグルコースをもとに酵母がアルコールを生産し蓄積していく。したがって、野生酵母の汚染という面では、糖分やアルコール分によっても野生酵母の増殖を複合的に抑制している面がある。今回の調査では、野生酵母を単離した清酒製造場には、糖に耐性を持つ野生酵母が散見されたが、耐アルコール性についてはそれほど強い野生酵母は見られなかった^{5,6)}。当然のことながら、他の製造場では、異なる性質を持つ野生酵母が存在することが考えられる。それらをいかに抑え込み優良酵母のみを生育させるか、適切な製造管理のためにも、製造場の菌叢とそれらの特徴を把握しておくことは重要である。

参考文献

- 1) 菅間誠之助: 日本醸造協会雑誌, 62, 927-935 (1967)
- 2) 菅間誠之助, 大内弘造, 加藤邦昭, 麻生直次郎, 川崎恒: 日本醸造協会雑誌, 62, 1022-1028 (1967)
- 3) 伊藤一成, 谷野有佳, 三宅剛史: 岡山県工業技術センター報告, 44, 7-9 (2018)
- 4) 国税庁 HP (国税庁所定分析法 3 清酒) : <https://www.nta.go.jp/law/tsutatsu/kobetsu/sonota/070622/pdf/03.pdf>
- 5) 伊藤一成, 谷野有佳, 三宅剛史: 岡山県工業技術センター報告, 45, 21-24 (2019)
- 6) 伊藤一成, 谷野有佳, 三宅剛史: 岡山県工業技術センター報告, 45, 27-30 (2019)
- 7) 黒須猛行: 日本醸造協会誌, 93, 334-343 (1998)
- 8) 黒須猛行: 日本醸造協会誌, 93, 414-424 (1998)
- 9) 若林三郎: 日本醸造協会誌, 93, 498-503 (1998)

磁界と流体の連成解析によるモータの温度に関する研究

Study on temperature of motor by coupled analysis of magnetic field and fluid

勝田智宣, 下山力生, 戸田憲吾¹, 戸田幸男¹, 寺本勉²

Tomonori KATSUTA, Rikio SHIMOYAMA, Kengo TODA, Yukio TODA and Tsutomu TERAMOTO

キーワード 磁界解析 / 流体解析 / 連成解析 /

KEY WORDS Magnetic field analysis / Fluid analysis / Coupled analysis

1 はじめに

モータにおける重要な課題の一つが、その発熱であり、これまでも多くの研究がなされている¹⁾。このモータの発熱は、大別するとコイルの抵抗による銅損と、ステータ、ロータといった鉄心や磁石における渦電流とヒステリシスによる鉄損が原因である。これらの熱によってコイルの被覆が焼けてしまったり、磁石が減磁してしまったりすると、モータは使用不能となる。

そこで、これらの熱に関して検討するため、磁界と流体による連成解析を実施した。連成解析とは、複数の現象をお互いに考慮しながら解析することである。本報告では、モータの熱に関して、異なる解析条件を比較することによって、その違いを明らかにすることを目的とした。

2 実験方法

連成解析に使用する磁界解析ソフトウェアはJSOL製JMAG、流体解析ソフトウェアはシーメンス製STAR-CCM+である。まず、JMAGでモータモデルを作成し、対象となる電気条件で解析する。次に、その際に自ら発熱する部品(ロータ、ステータ、磁石、コイル)の発熱密度のファイルを書き出す。最後に、それをSTAR-CCM+に読み込ませて、熱に関する解析を実施する。なお、これらの解析は、3次元モデルで実施する。

表1は、検討したモータの仕様である。表1よりロータとステータに用いた電磁鋼板は、高回転時の鉄損抑制のため、低鉄損材料を選んでいる。一方、磁石は、この鉄損抑制に加えて、熱による減磁を回避するために高保磁材料を選んでいる。また図1は、解析したモータの外観と内部を示す。図のケース内部に水を流すことによってモータを冷却させている。また、本来ならコイル同士を実機と同じように、それぞれ結線させる必要がある。しかし、モデル化の手間、モデルの複雑化に伴う解析の長時間化を考慮し、図のような棒状でもJMAGの設定によって結線が再現されている。

次に、表2は熱に関するソフトウェアの仕様と解析条件である。表の通り、JMAGでも熱に関する解析が可能のため、STAR-CCM+との比較を行った。表中のケース水冷について、STAR-CCM+は、水の流れをシミュレーションできるため、10 L/minを設定した。一方、JMAGではこの設定ができないことから、STAR-CCM+から算出した一定値を入力した。また、ロータが回転する際のステータとロータ間の強制対流の熱伝達について、その係数は、ロータの回転数、ギャップ長から構成される経験式が知られている²⁾。この熱伝達の経験式に、検討する定格出力の条件から算出した数値をソフトウェアに入力した。これによって、解析上、ロータは回転していないが、回転しているものとして熱伝達を模擬した。なお、雰囲気温度、冷却水温度は、ともに25℃で設定している。

3 結果と考察

図2は、JMAGによる定格出力時のモータ中央部の断面の発熱密度分布である。これが温度を算出

表1 モータの仕様

タイプ	同期モータ
外寸	D420×L400 mm
定格出力	100 kW (210 Nm, 4500 rpm)
極数	8
溝数	24
ロータ、ステータ	JFE 製 低鉄損材料
磁石	信越化学製 高保磁材料
コイル	銅

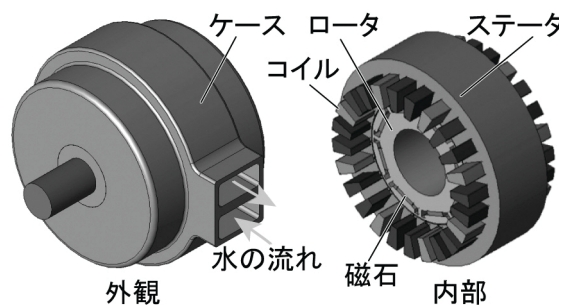


図1 モータの外観と内部

¹ 株式会社戸田レーシング、² 株式会社 JSOL

するときの基になる。図からわかるとおり、最も発熱密度が高いのは、コイルで挟まれたステータのティース部分である。これは4500 rpmという比較的高回転の条件によって、銅損より鉄損が発熱の主因になっているためである。また、磁石の両端部分は、磁束の短絡防止のための穴があるが、空気領域であるため、当然ながら発熱密度はゼロになっている。

図3は、表2の解析条件における温度分布を表している。断面は図2と同じ位置である。ここで、表2の通り、JMAGは、固体ではない空気や水の領域を解析することはできないが、STAR-CCM+ではそれが可能である。そのため、JMAGではモデル上に空気や水がないため、ケースでは水冷空間の稜線や、磁石両端の空気領域からケース底部が見えている。一方、STAR-CCM+では、断面にも水や空気が存在するため、ケースでは水冷空間の稜線は見えず、磁石両端の空気領域が部品温度と同等になっていることがわかる。このように同じ断面でも見え方が異なることに注意されたい。一方、2つの条件では空気の有無の違いがあるが、部品と比較すると、空気の熱伝導率は非常に小さいため、部品の温度分布には影響しない。

図3から明らかのように、2つともコイルの温度が高くなっている。これは、発熱密度が高かったステータは、外周を覆うケースに水が流されることによって、冷却されやすいが、コイルはステータとの接触熱抵抗もあるため、冷却されにくかったものと考えられる。一方、温度が高いのは、JMAG

を使用した解析であった。その温度差は大きく見えるが、ソフトウェアによって温度域を表すカラーバーの違いによるもので(例えば、JMAGでは25℃は灰色だが、STAR-CCM+では白色である)、実際には約5℃の差である。この温度差の理由は、JMAGで一定値にした熱伝達係数が、STAR-CCM+で設定したケースに実際に水を流した状態を再現したものより、小さかったためと考えられる。また他にも、STAR-CCM+は、誌面上では判別が難しいが、解析画面上では、水冷空間の入口と出口で若干色の濃さに違いが発生している。これはモータで発生した熱によって、出口の水温が上昇したことを表している。以上のことから、表2の解析条件による温度分布の傾向は大きく変わらないが、最も温度の高いコイルで約5℃の差があることがわかった。

4 まとめ

2つの解析条件を比較することによって、その影響を明らかにできた。今後、ロータの回転を熱伝達係数で代替せず、実際に回転させたり、コイル同士を結線させたりすることによって、解析精度を高めていく予定である。

参考文献

- 1) 溝田徹、原洸、甲野藤正明、2019年電気学会産業部門大会講演論文集 (2019) III p.319-320
- 2) YouGuang Guo, Jian Guo Zhu, Wei Wu, IEEE Transactions on Magnetics (2005), vol.41, No.6

表2 ソフトウェアの仕様と解析条件

ソフトウェア	JMAG	STAR-CCM+
メッシュ	三角柱	多面体
解法	有限要素法	有限体積法
解析対象	固体	固体、流体(空気や水)
ケース水冷	熱伝達係数一定値	10 L/min
ロータ回転	熱伝達係数	熱伝達係数

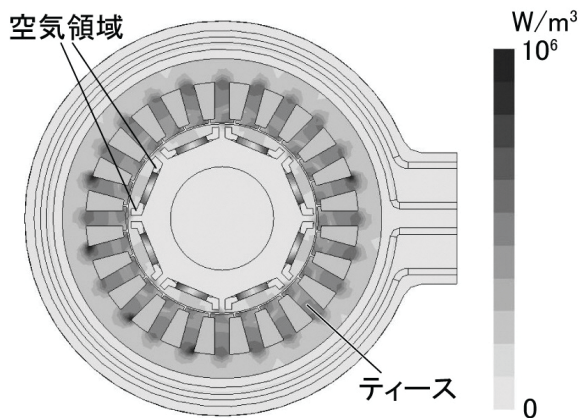


図2 発熱密度分布

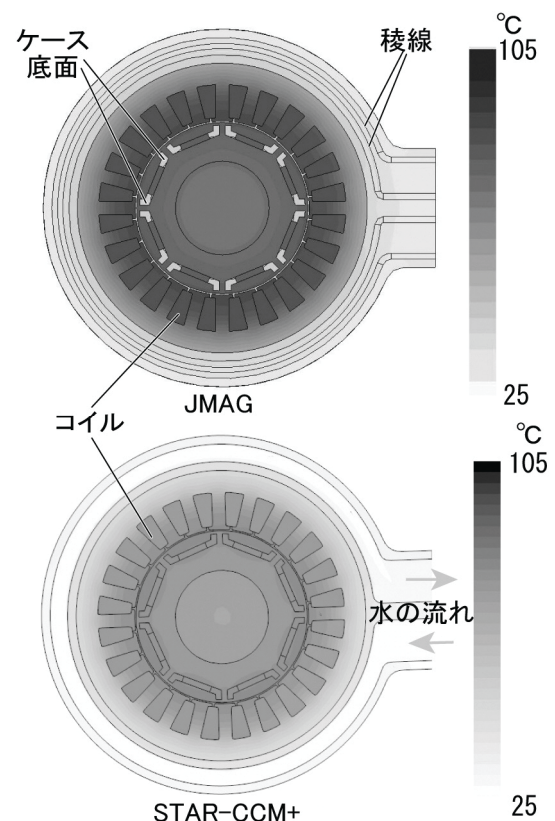


図3 解析条件の違いによる温度分布

インジゴ染色布の次亜塩素酸ナトリウム脱色に 及ぼす臭化物イオンの影響

Effects of Bromide ion on Bleaching of Indigo Dyed Cloth with Sodium Hypochlorite

國藤勝士・松本侑子

Katsushi KUNITOU, Yuko MATSUMOTO

キーワード インジゴ／脱色／次亜塩素酸ナトリウム／臭化物イオン／色差

KEY WORDS Indigo／Bleaching／Sodium hypochlorite／Bromide ion／Color difference

1 はじめに

インジゴはジーンズに使用されている青色染料である。ジーンズは経年使用などによってインジゴ染料が分解・色落ちすることで商品価値が向上する。このため、ジーンズ洗い加工企業では脱色剤を用いてジーンズを積極的に色落ちさせる加工が一般的に行われている。脱色剤としては、価格や取扱いの容易さ等の理由から、次亜塩素酸ナトリウムが用いられているが、その使用量削減は常に求められていた。

一方、次亜臭素酸ナトリウムは式(1)より次亜塩素酸ナトリウムと臭化ナトリウムを混合することで容易に合成され¹⁾、次亜塩素酸ナトリウムと比較して酸化速度が著しく速くなる²⁾ことが報告されている。



そこで本研究では、インジゴ染色布を使用し、次亜塩素酸ナトリウムによる脱色における臭化物イオン添加の影響について検討した結果を報告する。

2 実験方法

2.1 試料

インジゴはダイスター製の Dystar Indigo Gran を使用した。被染物である綿布は(一財)日本規格協会の添付白布を使用した。炭酸ナトリウム、チオ硫酸ナトリウム、臭化リチウム、臭化ナトリウム、臭化カリウム、塩化ナトリウムはナカライテスク(株)製の特級試薬を使用した。次亜塩素酸ナトリウムは倉敷市児島のジーンズ洗い加工企業から提供された原液(実験時の有効塩素 8.6%)を使用した。

2.2 インジゴ染色布の作製

インジゴ染色は既報³⁾に準じて行った。染色後、0.5%マルセル石鹼溶液(浴比 1:50)が入っ

た染色ポットにインジゴ染色布を投入し、赤外線ポット染色試験機(UR・MINI-COLOUR)にて 4℃で 30 分間ソーピング処理した。水洗、乾燥させた後に 3 cm 角にカットして試料とした。

2.3 インジゴ染色布の脱色

0.2 mol/L 炭酸ナトリウム溶液に次亜塩素酸ナトリウム溶液を各有効塩素濃度となるよう添加して試験液を作製した。50℃に加温した 50 mL の試験液に臭化ナトリウム、臭化リチウム、臭化カリウムもしくは塩化ナトリウムを 50 mmol/L となるよう添加した後、インジゴ染色布を浸し、軽く攪拌させながら、一定時間処理した。布を取り出して 30 mmol/L のチオ硫酸ナトリウム溶液に 40℃、20 分軽く攪拌させながら浸漬して脱塩素処理を行った。布を取り出して水洗、乾燥させ試料とした。

2.3 脱色量の評価

コニカミノルタ(株)製の分光測色計 CM-3600d を用いて 400-800 nm の反射率を測定し、各試料の明度(L*値)、色度(a*値、b*値)を測定した。試験前試料の明度、色度を L₀、a₀、b₀、試験後試料の明度、色度を L₁、a₁、b₁、として、式(2)より色差(ΔE*_{ab})を算出し、脱色量を評価した。

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L^*_1 - L^*_0)^2 + (a^*_1 - a^*_0)^2 + (b^*_1 - b^*_0)^2} \cdots (2)$$

なお、試験前のインジゴ染色布の L*₀ 値、a*₀ 値、b*₀ 値は下記数値を示した。

$$\begin{aligned} L^*_0 &= 22.5 && (\text{黒:0, 白:100}) \\ a^*_0 &= 0.86 && (\text{正值は赤色, 負値は緑色}) \\ b^*_0 &= -13.73 && (\text{正值は黄色, 負値は青色}) \end{aligned}$$

3 結果と考察

図1にインジゴ染色布の脱色に及ぼす有効塩素濃度(臭化物イオン未添加)の影響を示す。色差(ΔE^*_{ab})は未処理のインジゴ染色布との色の違いを示しており、数値が大きいほど脱色量が多いことを意味している。またいずれの試験も試験前後のpHは約11.0(50°C)とほぼ一定値を示した。

有効塩素濃度0.01%では30分後もほとんど脱色されなかったが、有効塩素濃度の増加に伴って脱色量も増加し、0.1%以上の条件では30分以下で $\Delta E^*_{ab} > 30$ となった。インジゴ染色布の脱色に有効塩素濃度が大きく影響することが確認された。

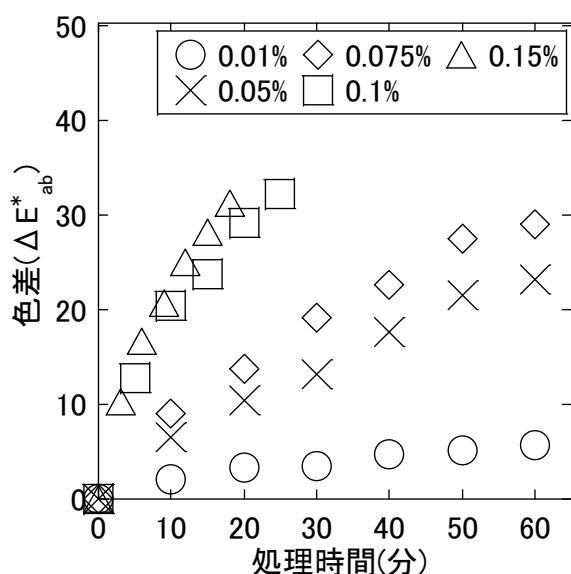


図1 インジゴ染色布の脱色に及ぼす有効塩素濃度の影響

図2にインジゴ染色布の脱色に及ぼす臭化ナトリウムの影響を示す。いずれの試料も有効塩素濃度0.01%溶液とした。比較として塩化ナトリウムを同濃度添加した条件を付記した。塩化ナトリウムを添加した条件では、「添加無し」と同脱色速度を示し、塩化ナトリウムは脱色速度に影響しないことが分かった。一方、臭化ナトリウムを添加した条件では、インジゴ染色布は短時間で脱色されることが確認された。これは有効塩素濃度0.1%の脱色速度と同程度であった。臭化ナトリウム溶液のみではインジゴ染色布は脱色されないことを別実験で確認しており、本脱色反応は次亜臭素酸イオンが生成したことによって短時間で脱色したと推察される。

図3に各種陽イオンの影響を示す。リチウム、ナトリウム、カリウム、いずれの陽イオンも同脱色速度を示し、陽イオンは脱色反応に影響

しないことが確認された。

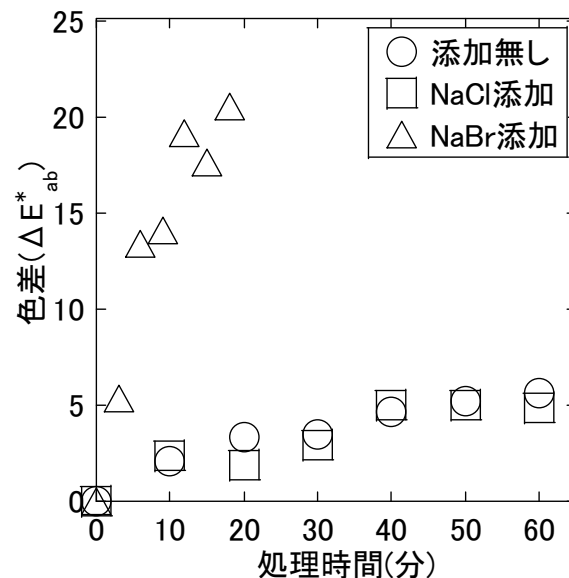


図2 インジゴ染色布の脱色に及ぼすNaBrの影響(有効塩素濃度0.01%, 50°C)

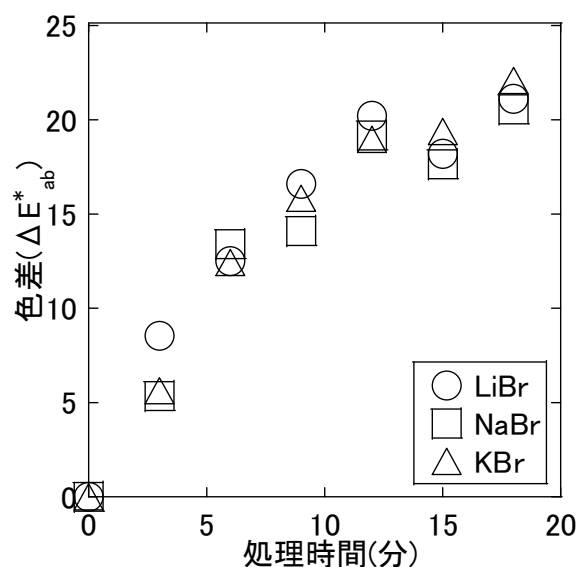


図3 各種陽イオンの影響

4 まとめ

次亜塩素酸ナトリウムに臭化ナトリウムを添加したところ、同濃度の次亜塩素酸ナトリウムと比較して、短時間でインジゴ染色布が脱色された。また、本脱色反応では陽イオンは影響しなかった。

5 参考文献

- 1) 影山俊文, 今村秀夫, 上野芳男, 大河原信: 日本化学会誌, 1983, 7, 999(1983).
- 2) 中野準三: 紙パ技協誌, 20, 11, 596(1966).
- 3) 國藤勝士, 前田進悟: 岡山県工業技術センター報告, 33, 3(2006)

ニューラルネットワークを用いたゴムの物理的特性推定

Prediction of physical properties of rubbers by neural networks

平田大貴・眞田明・岩薨仁

Daiki HIRATA, Akira SANADA and Hitoshi IWABUKI

キーワード ニューラルネットワーク / 回帰分析 / ゴム

KEY WORDS Neural network / Regression analysis / Rubber

1 はじめに

ゴムは、製造時の原料や成型条件などが複雑に影響し合い、最終的な特性が決まる材料である。ゴムの製造工程では、成型後の特性が目標の値に定まるように原料や成型条件を調整する必要があるが、上記の理由から、少ない試行回数で狙った特性のゴムの製造するのは非常に困難である。

本検討では、約 500 件のゴムデータを使用し、ニューラルネットワークによる成型後のゴムの特性推定を行った。ニューラルネットワークへの入力データはゴムの製造工程で使用した配合剤などの原料データと成型条件を用いた。また、その出力(推定対象)は、硬度・引張強度・破断伸び・モジュラス・静ばね・動ばね・硬度変化・老化後物質・圧縮永久歪率のゴムの特性値とした。これらの推定対象に対して、個別のニューラルネットワークモデルを構築し、学習と推定精度の計測を行ったので、その詳細について報告する。

2 モデル構造とデータの処理手順

学習と推定には、4層のニューラルネットワークを使用し、モデルの過学習を防ぐため各層に Dropconnect と BatchNormalization を適用した。Dropconnect は、モデルの学習時に重みパラメータを指定した確率でランダムに 0 とする手法であり、本検討では、その確率を 35% に設定した。BatchNormalization は、各層でノードが取る値を標準化する手法である。活性化関数は、すべての層で ReLU 関数を使用した。また、最適化アルゴリズムは、Adam を使用し、ハイパーパラメータの初期値は、 $\alpha=0.001$, $\beta_1=0.9$, $\beta_2=0.999$, $\epsilon=10^{-7}$ とした。ここで、 α は学習量を調整するための学習率、 β_1 , β_2 はモーメント推定のための指数関数的減衰、 ϵ はゼロ除算を防ぐための小さな正の数である。損失関数は平均絶対誤差を使用した。

各ゴムデータの一部には、成型条件や特性データが欠けた状態のものも含まれていた。そのため、データの処理中にその削除を行った。ま

た、各原料において、

$$A_i = \frac{\text{ゴムxにおける材料iの値}}{\sum_k(\text{ゴムxにおける材料kの値})}$$

の式より、使用した原料の全体比 A_i をそれぞれ算出することで入力データの拡張を行った。

学習・推定処理の流れを以下に示す。

1. データ読込と不要領域(ラベル等)の分離
2. 指定の特性データと関連する成型条件データの抽出
3. 原料データの空欄要素を 0 に変換
4. 欠測値を含むデータの削除
5. 全体比 A_i の算出による特徴量拡張(元データ、全体比データの双方を使用)
6. 原料と成型条件データの結合と正規化
7. 全ゴムデータで素材が 0 の原料データを削除
8. データのシャッフル
9. データを学習用(全体の 85%)とテスト用(15%)に分離
10. ミニバッチサイズを学習データ数の 1/3 に指定
11. 9000epochs の学習と推定精度の評価(4000epochs と 6000epochs 時に学習率 α を 1/10 倍)
12. 最終 100epochs の推定平均値算出

3 結果と考察

ゴム特性の推定精度を表 1 に示す。検証 A は成型条件を入力に含んでいない 540 件のデータを使用した結果であり、検証 B は成型条件を入力に含めた 518 件のデータを使用した結果である。本検証では、予測値が正しい値から $\pm 5\%$ の範囲に入った場合を正解とみなして推定精度を算出した。

初期物性の硬度と破断伸び、耐熱老化性の硬度変化、一部の圧縮歪率は高い精度で推定できている。また、成型条件を含むことで推定精度が向上する場合と低下する場合があることから、推定する特性ごとに適切な入力パラメータを選

表 1 ゴム特性の推定精度結果 (単位は%)

データ条件		検証A	検証B	
初期物性	硬度	92	85	
	引張強度	67	72	
	破断伸び	80	71	
	100% モジュラス	62	54	
	200% モジュラス	42	47	
	300% モジュラス	60	50	
ばね特性	静ばね	68	67	
	動ばね	48	58	
耐熱 老化性	老化 条件A	硬度変化	97	86
		引張強度	58	67
		破断伸び	57	53
	B	硬度変化	98	91
		引張強度	47	40
		破断伸び	54	53
	C	硬度変化	97	92
		引張強度	38	48
		破断伸び	53	46
圧縮 永久歪	老化 条件A	歪率	50	63
	B	歪率	67	80
	C	歪率	72	82

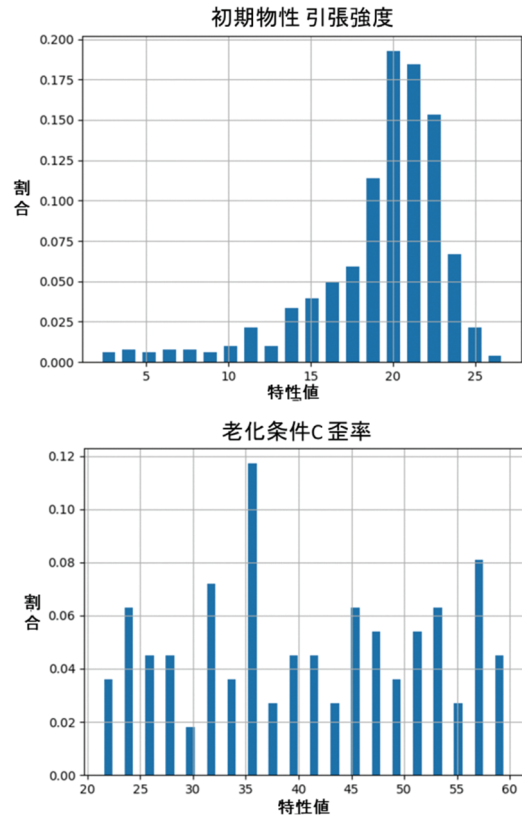


図 1 特性値分布

ことができた。しかしながら、特性によっては50%程度の精度でしか推定できないものもあり、それらの推定精度を向上させることが今後の課題である。今回の検討では、使用できるデータ数が少なかったことから、推定精度を上げるためには、データ数を増やして学習させることが最も有効であると考えられるが、データの収集コストが高い。そのため、引き続き、入力パラメータの厳選、データ拡張、モデル構造の変更などで推定精度の改善手法を検討していきたい。

摂する必要があることがわかった。さらに、今回の検討では、使用できるデータ数が少なかったことから、推定精度を上げるためにはデータ数を増やして学習させる必要があると考えられる。

図1に入力に使用した特性分布の一例を示す。各特性データの分布を確認した結果、特性値の分布が比較的均等であるものと偏っているものが存在することがわかった。本検討では、前処理としてデータをシャッフルして学習データとテストデータに分割しており、学習データから大きく離れた特性値をモデルが上手く推定できていない可能性がある。このことから、データ数が少ない領域のデータを追加で収集することが推定精度の改善に繋がると考えられる。

4 まとめ

ニューラルネットワークによるゴムの特性推定を行い、一部の特性値を高い精度で推定する

パッシブ音響フィルタのデモンストレーション装置

Development of a passive acoustic filter demonstration device

眞田 明・余田 裕之・高祖英樹¹

Akira SANADA, Hiroyuki YODEN and Hideki TAKASO

キーワード 音響フィルタ / 遮音 / 音響透過

KEY WORDS Acoustic filter / Sound insulation / Sound transmission

1 はじめに

著者らは、これまでに、弾性板や微小孔などで構成されるパッシブな音響フィルタを有する耳栓を提案した¹⁾。この耳栓は、低周波数では全体的に高い遮音性能を維持しつつ、特定周波数のみの音を透過する特性を持つ。従来の耳栓は全周波数で音を遮断するため、騒音が発生する環境下で耳の保護のために耳栓を使用する場合、警報音などの聞き取る必要がある音が聞こえず、安全上問題があることが指摘されている。これに対して、提案耳栓では、透過する音の周波数を警報音に一致するように設計すれば、耳栓装用時においても警報音を知覚可能である。このことから、防音保護具として求められる遮音性能と安全性とを両立する耳栓として期待される。特定音を透過するフィルタの原理は、弾性板の共振現象と、孔と空洞部で構成されるヘルムホルツ共鳴器による共鳴現象の組み合わせによる。双方の共鳴現象の相乗効果により、特定音を通過させる効果が向上する。

この耳栓で用いる音響フィルタの効果を実際に聞いて理解してもらうデモンストレーション装置の開発を行った。衛生上の観点から、耳栓を装着して音を聞いてもらうのではなく、スピーカから音を出し、そこに音響フィルタを取り付けて、その効果を体験してもらう装置を考えた。以下に、その設計法および音響フィルタ特性の実験結果について示す。

2 音響フィルタ設計

これまでに提案した耳栓の設計法と同様に伝達マトリクス法を用いて音響フィルタの設計を行った。ただし、耳栓が、外部から外耳道に音が入射する場合を想定しているのに対し、今回の装置は、スピーカ側から音が外部に放射される場合である。このため、これに合わせた遮音性能予測が必要となった。検討する音響フィルタの計算モデルの概要を図1に示す。図の左側のスピーカから発生した音は、まず、孔に入射する。次に、空洞部を通過し、共振周波数を調整するための錘が取り付けられた弾性板を振動させる。弾性板の振動から外部空間に音が再放射されることで、スピーカから

の音が外部へ透過する。

音響フィルタの入射側表面の音圧と粒子速度を p_1 、 v_1 とし、透過側の弾性板表面の音圧と粒子速度を p_{out} 、 v_{out} とする。このとき、これらの関係は次式で表すことができる。

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ v_1 \end{bmatrix} = \mathbf{T}_a \mathbf{T}_b \mathbf{T}_p \begin{bmatrix} p_{out} \\ v_{out} \end{bmatrix} \quad (1)$$

ただし、 \mathbf{T}_a 、 \mathbf{T}_b 、 \mathbf{T}_p は 2×2 の行列で、それぞれ孔、空洞部、弾性板の伝達マトリクスを表す¹⁾。個々のマトリクスの成分は、それぞれの物理モデルにより求められる。ただし、弾性板から自由空間への放射インピーダンスは考慮しない。入射波の音圧と粒子速度を p_i 、 v_i とし、反射波の音圧と粒子速度を p_r 、 v_r とすると、音響フィルタの入射側表面における音圧と粒子速度の関係から次式が成り立つ。

$$p_1 = p_i + p_r \quad (2)$$

$$v_1 = v_i + v_r = \frac{p_i - p_r}{Z_c} \quad (3)$$

ただし、 Z_c は空気の特徴インピーダンスである。

式(2)、(3)より、音響フィルタの透過率は次式で表すことができる。

$$\tau = \frac{p_{out}}{p_i} = \frac{2p_{out}}{p_i + Z_c v_1} \quad (4)$$

また、透過損失 (dB値) は次式で表すことができる。

$$R = 20 \log(1/\tau) \quad (5)$$

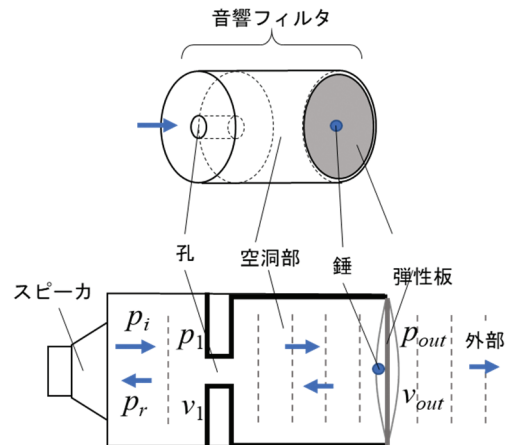


図1 検討する音響フィルタとその計算モデル

¹ エーイー・ザ・サウンズカンパニー

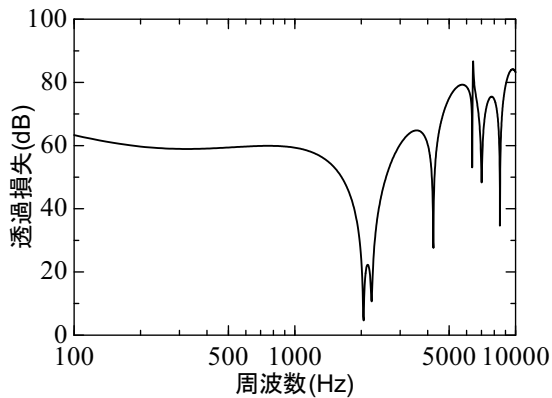


図2 透過損失計算結果

以上の式を用いて、音響フィルタの設計を行った。設計周波数は約2k Hzとした。弾性板は直径30 mmのアルミ板とし、共振周波数の調整用の錘を取り付けるとした。目的の特性となるように弾性板の厚み、錘重量、空洞部長さや穴径などを調整し、それぞれの伝達マトリクスを求め、全体の透過損失を計算した。最終的に設計した音響フィルタの透過損失計算結果を図2に示す。2,050 Hzと2,230 Hz付近に遮音性能が大きく低下するディップが見られ、この周波数付近の音を透過する特性が得られることが分かる。また、1k Hz以下の低周波数においては全体的に60 dB程度の高い遮音性能を確保できている。

3 音響フィルタ製作と実験結果

設計した音響フィルタを用いたデモ装置を製作し、音響特性の計測を行った。図3に製作した装置の写真を示す。実験は無響室内で行った。音響フィルタの本体は、アクリルパイプを用いた。内径が40 mmのアクリルパイプを旋盤加工により長さ170 mmに切断し、その内部には内径30 mmのアクリルパイプ、錘付き弾性板、孔あき板にて構成した音響フィルタを組み込んだ。弾性板および孔あき板はアルミ材により製作した。スピーカには、ホーンスピーカ用ドライバを用いた。装置では、ドライバの発音部分に音響フィルタのパイプを取り付ける構造とした。遮音性能の評価では、入射音圧を計測することが難しいため、ここでは挿入損失の測定を行った。挿入損失の測定には、まず、音響フィルタを取り付けない状態でのドライバの発音部分から100 mmの位置の音圧レベルの測定を行い、次に音響フィルタを取り付け、アクリルパイプ出口から100 mmの位置の音圧レベルを測定した。挿入損失は、その音圧レベルの差 (dB値) とした。音源として、ホーンスピーカ用ドライバを用いた今回の実験の場合、計算で求めた透過損失と、挿入損失の値は、理論的に大きな差は生じないと考えられる。

図4に実験結果を示す。図2と図4を比較すると、全体的な傾向がよく一致していることが分かる。特に2k Hz付近の遮音性能が低下する領域 (音を通す領域) の特性は、実験と計算結果が非常によく

一致しており、実験的にも音を透過する音響フィルタを実現できていることが確認できる。また、1k Hz以下の低周波数では高い遮音性能が実現できていることも分かる。実験では、400 Hz以下で、計算よりも遮音性能が低くなっているが、これは音響フィルタを挿入した際に透過する音圧のレベルが低すぎて、測定限界以下になってしまったことが原因と考えられる。また、5,000 Hz以上の高周波数で計算結果よりも遮音性能が低下しているが、これは計算で考慮していないパイプ内の共鳴などが影響していると考えられる。

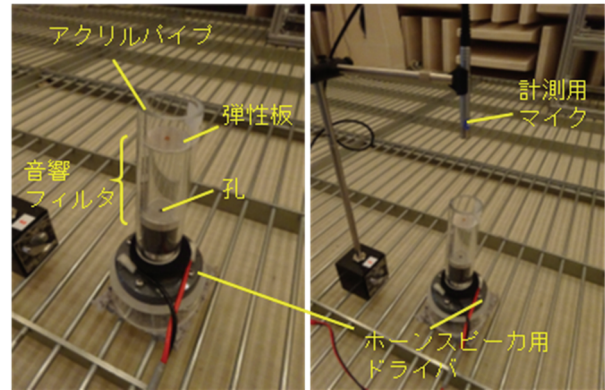


図3 製作した音響フィルタのデモ装置および実験の様子

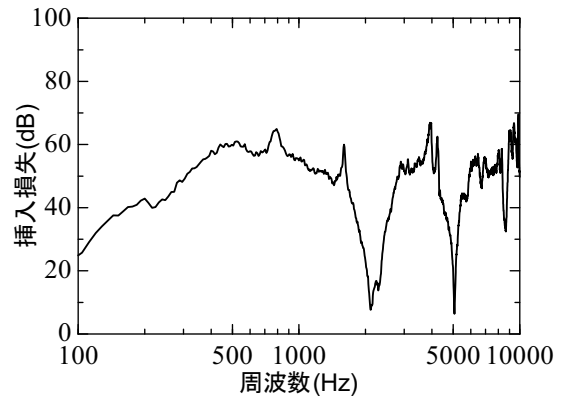


図4 挿入損失実験結果

4 まとめ

音響フィルタの効果を耳で聞いてもらうデモンストレーション装置を設計し、実験によって効果の確認を行った。実験結果は、計算結果とよく一致したことから計算モデルの有効性が確認できた。また、音響フィルタとしての効果を理論および実験の両面から検証することができた。今後、このデモンストレーション装置を利用して、音響フィルタのPRを行うとともに、耳栓だけでなく、機械の低騒音化対策などへ、提案した音響フィルタを応用することも検討したい。

参考文献

- 1) 眞田明, 高祖英樹: 日本機械学会 Dynamics and Design Conference2018, 304 (2018)

熱間鍛造における金型ひずみに及ぼす加熱温度の影響

Effect of Heating Temperature on Die Strain in Hot Forging

築山 訓明・辻 善夫・内田 清¹・林 祥次¹

Kuniaki TSUKIYAMA, Yoshio TSUJI, Kiyoshi UCHIDA, Shoji HAYASHI

キーワード 熱間鍛造 / 金型ひずみ / 加熱温度
KEY WORDS Hot forging / Die strain / Heating temperature

1 はじめに

鍛造とは、ハンマーの打撃により大きなエネルギーを金属材料に加え、そのエネルギーを利用することで塑性変形させ、目的の形に成形する加工法である。

鍛造は加工時の温度・金型使用の有無により分類される。温度による分類では、常温で成形を行う冷間鍛造や、再結晶温度以上に加熱し、成形を行う熱間鍛造などがある。冷間鍛造の特徴は、成形品表面に酸化皮膜が形成しないため、表面の仕上がりが良い点である。しかし、変形により成形品に割れが生じる、加工硬化するために中間焼鈍や成形後の焼戻しが必要、大型部品には不向きといった問題点がある。一方、熱間鍛造は、加熱することで表面に酸化皮膜が形成するため、表面が荒れる問題点がある。しかしながら、変形抵抗を小さくした状態で成形を行うため、割れの発生を抑制できる、複雑な形状・大型部品の成形が可能といった特徴がある。

また、鍛造の種類について、金型使用の有無により分類され、金型を使用する場合は「型鍛造」に分類される。型鍛造における金型の寿命は、摩耗や破損・損傷発生によって制限される。熱間鍛造では摩耗が主要因と考えられているが、鍛造途中での温度低下などにより金属材料の変形抵抗が大きくなる結果、金型が破損する可能性も考えられる。

本報告では、実際の3tエアドロップハンマーを使用し、熱間鍛造時の加熱温度および打撃箇所を変え、それが金型ひずみに与える影響について述べる。

2 実験方法

供試材には、SUS630(φ54 mm×205 mm)を用いた。供試材は誘導加熱炉を用いて1200℃、1240℃および1280℃に加熱した後、自由鍛造により荒地加工後、型鍛造によりステアリングブラケット形状に成形した。以下、それぞれの供試材を1200℃材、1240℃材、1280℃材と表記する。

鍛造時の金型のひずみ測定には、金型の4側面の8箇所にはずみゲージ(KFGS-10-120-D17-11、共和電

業(株)製)を貼り付け、ユニバーサルレコーダー(EDX-100A-4H、共和電業(株)製)を用いて計測した。図1は金型へのひずみゲージ取り付け位置模式図を示しており、図2はひずみゲージを取り付けた金型前面の写真である。図に示すように、同一金型に①前加工、②粗加工、③仕上げ加工用の型を彫刻した。鍛造による打撃回数は全6回とし、①、②、③の順番にそれぞれ1回、3回、2回の打撃を行った。本報告では、各領域から等距離となる箇所のひずみについて検討するため、ch1～ch3で計測するひずみに注目した。

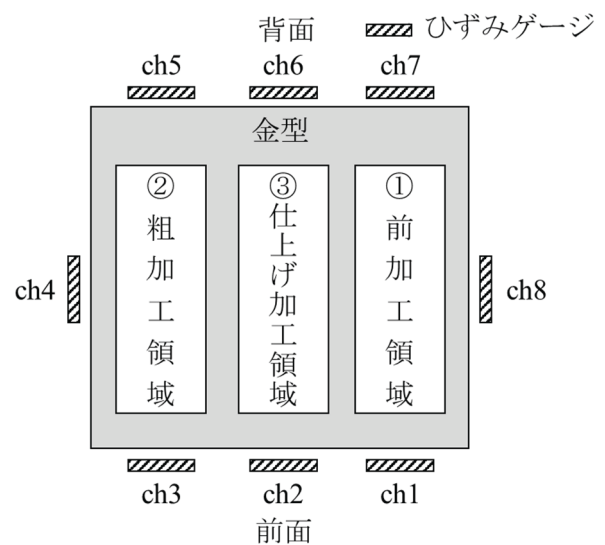


図1 ひずみゲージ取り付け位置模式図

ひずみゲージ

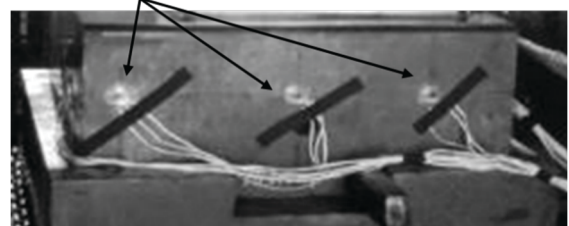


図2 金型前面写真

¹ 株式会社川上鉄工所

3 結果と考察

図3に鍛造時の打撃毎にch1からch3で測定された最大主ひずみ(10点平均値)を示す。前加工領域(ch1)で測定されたひずみ(打撃回数1回目)は、加熱温度によらず同程度であった。これより、鍛造開始時点では、供試材の変形抵抗に大きな差はなく、金型ひずみに及ぼす加熱温度の影響は小さいと考えられる。

粗加工領域(ch3)では、2打撃目よりも3打撃目の方が、ひずみが大きくなっている。また、4打撃目に着目すると、加熱温度の最も高い1280°C材のひずみが最も大きい。加熱温度が高い場合、変形抵抗が小さくなるため、供試材を所定の形状まで少ないエネルギーで変形させることができる。このため、加熱温度が高い場合では、比較的初期に供試材が所定形状まで変形するため、ハンマー打撃により付与されるエネルギーの多くが金型のひずみに使用されたため、ひずみが大きくなったと考えられる。

仕上げ加工領域(ch2)では、粗加工領域と同様、打撃回数の増加に伴い、ひずみが増加している。しかし、6打撃目に着目すると、加熱温度が低いほど、金型ひずみが大きくなっており、加熱温度の影響は粗加工領域と異なっている。製造ラインを流れている最中、供試材の温度は徐々に低下する。そのため、仕上げ加工領域に達した時点では、供試材の温度が下がり、変形抵抗が大きくなっていることが予想される。これにより、仕上げ加工時の鍛造では、供試材の変形が抑制され、消費されなかったエネルギーが金型に付与されるため、金型ひずみが大きくなったと考えられる。

打撃箇所の影響については、供試材の鍛造時((A)1打撃目、(B)2~4打撃目、(C)5,6打撃目)を除けば、測定されたひずみ量に大きな差はみられなかった。鍛造時に金型に生じるひずみは、加工点付近において大きなひずみが発生し、それが金型全体へ伝播するものと考えられる。

4 まとめ

SUS630を対象に、実際のアエドロップハンマーを使用し、加熱温度および打撃箇所を変え、それが金型ひずみに与える影響について調査した。実験の結果、前加工では、加熱温度の違いによるひずみの差はほとんどみられなかった。粗加工および仕上げ加工では、打撃回数の増加に伴い、ひずみも増加した。また、前者では高温ほど、後者は低温ほど、ひずみが大きくなる傾向がみられた。ひずみの発生は、打撃時に金型全体で発生するのではなく、加工点付近で発生し、それが金型全体へ伝播するものと考えられる。

謝辞

本研究の一部は、岡山県産業廃棄物処理税より助成を受けて実施した内容であり、ここに謝意を

表します。

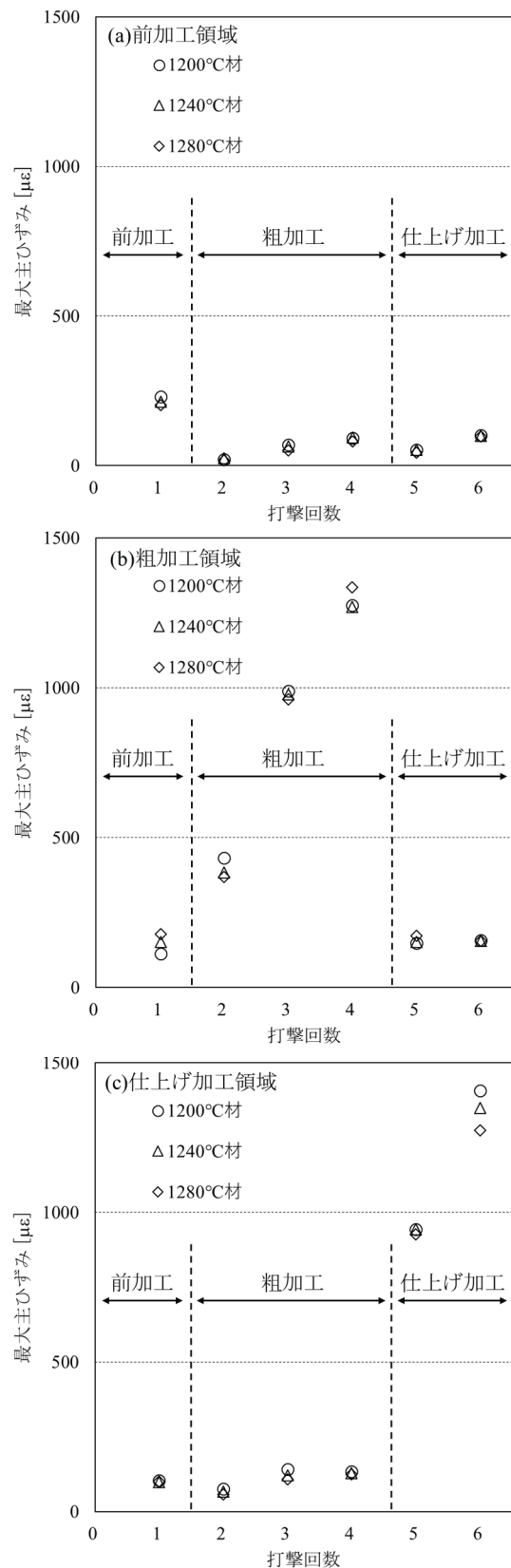


図3 打撃毎の金型ひずみ測定結果：(a)前加工領域、(b)粗加工領域、(c)仕上げ加工領域

X線マイクロCTによる捺染綿布の染色性評価

Evaluation of dyeability of printed cotton fabric by X-ray μ CT

松本 侑子

Yuko MATSUMOTO

キーワード X線マイクロCT / 綿布 / インクジェット捺染
KEY WORDS X-ray μ CT / cotton fabric / ink-jet textile printing

1 はじめに

繊維に色をつける染色加工には、大きく分けて浸染と捺染がある。前者は水を媒体として染料を付着する方法であり無地の加工に用いられる。後者は捺染糊を媒体にして染料を繊維の任意の場所に付着する。これにより、無地の布に部分的に色付けを施して模様を付与することができる。近年よく用いられる捺染方法のひとつは、インクジェット捺染である。繊維へのインクジェット捺染は、色材のロスや排水が少ないことから環境負荷の低い染色加工^[1,2]として注目されている。

捺染は、前述したとおり、布に部分的に染色を施す加工であるため、鮮明な模様を表現するには、にじみのないことが重要である。そのため、色材の繊維への浸透について評価する必要がある。しかし、染色加工の評価として一般的に行われる分光光度計を用いた評価では、照射領域内の情報を平均化するため、照射領域内のにじみや模様の濃淡(色むら)等、繊維への色材の浸透についての詳細な評価は困難である。

そこで、捺染によって付与した模様を評価するため、X線マイクロCT (X-ray Micro-computed Tomography) を用いる方法を検討した。X線マイクロCTは物体内を透過するX線の透過力を利用して、内部構造を観察する装置である^[3]。X線の透過率は観察物の形状や構成する元素によって異なり、透過率の差が濃淡の差として画像化される。本研究では、色材と下地である綿布の構成元素の違いから生じる透過率の差を利用して、インクジェット用インクを塗布した綿布の評価を試みた結果を報告する。

2 実験方法

綿布は13.5 ozのホワイトデニム及びブルーデニムを用いた。デニム生地(2 cm \times 2 cm)の中央から半分にインクジェットプリンタ用の顔料インク(インク色: K)をスポイトで適量塗布し自然乾燥したものを試料とした。

X線分析顕微鏡(株式会社堀場製作所、XGT-7200)を用いてインク塗布前後のホワイトデニムの元素分析をおこなった。X線管電圧は30 kV、電流が1 mA、X線照射径は1.2 mmとした。

X線マイクロCT (Bruker, Sky Scan 1173) を用いて観察をおこなった。X線発生電圧は35 kV、電流は190 μ A、Rotation stepは0.2 $^\circ$ 、Pixel sizeは6.4 μ mとした。得られた透過像を再構成し、試料の3次元情報を得た。

3 結果と考察

図1にインクを塗布したホワイトデニムの元素分析の結果を示す。塗布前後で検出された2.8 keV付近のピークはX線管のターゲットに由来するピークである。塗布前の表面ではケイ素(Si)とカルシウム(Ca)に帰属されるピークが検出された。一方、塗布後の表面ではSiとCaに加えて、硫黄(S)と銅(Cu)が検出された。このとき検出されたSとCuはインク由来の元素であると考えられた。

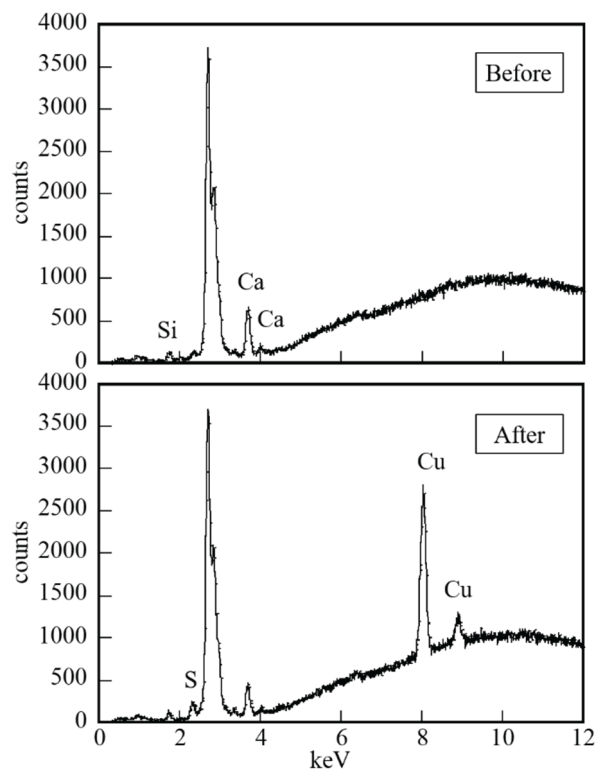
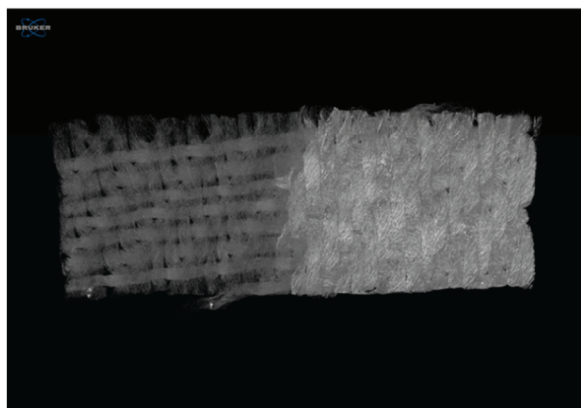


図1 インク塗布前後のホワイトデニムの元素分析結果

図2はインクを塗布したホワイトデニムの写真とX線マイクロCTでスキャンした結果である。試料中心から左側が未塗布部で、右は塗布部である。図2aには測定した試料のインクの境界部分を拡大して示した。図2bの画像の色の濃淡は試料のX線透過率の差を表しており、透過率が高い領域は淡く、透過率が低くなるに従い濃く表示される。測定した試料の左半分比べて右半分は濃く表示された。写真と比較すると観察された濃淡はインクの塗布部の境界と一致している。図1より、インク塗布後の試料表面からは新たにCuとSが検出されており、構成元素が変化していることがわかる。したがって、試料の構成元素の変化により透過率の差が生じ、濃淡として表示されたと考えられる。また、インク塗布部の中でも境界部からやや右中央が濃く表示された。これは、インク塗布領域内に透過率の差があることを示している。この結果は、インクの付着に偏りがあるためと考えられた。インクの塗布部の境界が明確に現れたこと、インクの塗布むらが濃淡で表示される可能性から、本評価方法は印刷した模様の輪郭やにじみ、濃淡のむらの評価への活用に期待ができる。



(a)



(b)

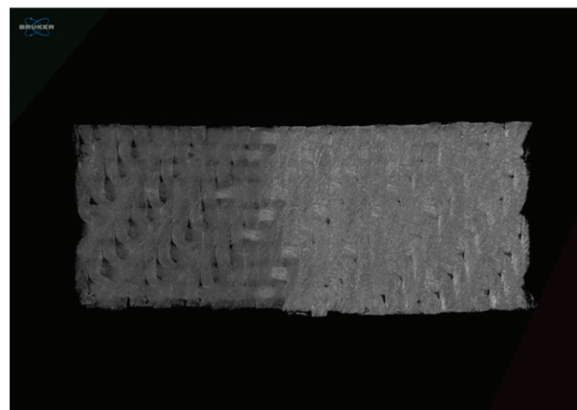
図2 インクを塗布したホワイトデニムの (a) 拡大写真と (b) X線マイクロCTスキャン結果の3次元ボリュームレンダリング表示

図3は同様にインクを塗布したブルーデニムの写真とX線マイクロCTスキャンした結果である。図3aでは、インクを塗布した境界部は判別しづらく、ホワイトデニムに比べてインクの付着の目視評価は困難であった。しかし、図3bでは、試料中央を境にはっきりと濃淡の差がみられ、インク塗布部の

判別が可能であることがわかった。



(a)



(b)

図3 インクを塗布したブルーデニムの (a) 拡大写真と (b) X線マイクロCTスキャン結果の3次元ボリュームレンダリング表示

以上の結果より、X線マイクロCTを用いてインクジェットプリントで付与した模様の品質を評価できる可能性を見いだした。さらに、この方法は下地と模様の色が似通っていて目視では評価が困難な場合においても期待できる。なお、今回は手作業によってインクを塗布した試料の結果であるため、実際にインクジェットプリンタを用いて加工した試料についてさらに詳細な検討が必要である。また、インクの色や種類によって構成元素も異なると考えられるため、他の色材についても検討する必要がある。

4 まとめ

X線マイクロCTを用いて、綿布に捺染で付与した模様の品質評価が行える可能性を見いだした。また、目視での評価が困難である不鮮明な印刷においてもインクの有無の検出が期待できる。

参考文献

- 1)西松豊典 編著: “最新テキスタイル工学II”, 繊維社企画出版(2014)
- 2)柴谷正也: 日本印刷学会誌, **48**, 246-250 (2011)
- 3)高杉早苗, 森岡 仁: 日本印刷学会誌, **54**, 10-14 (2017)

LANコネクタの寄生容量によるクロストークの検討

Crosstalk Evaluation with the Parasitic Capacitance of LAN Connector

渡辺 哲史・若槻 友里・若尾 和正*・林 洋之*

Tetsushi WATANABE, Yuri WAKADUKI, Kazuo WAKAO* and Hiroyuki HAYASHI*

キーワード 漏話 / 寄生容量 / イーサネット / コネクタ / 伝送線路
KEY WORDS Crosstalk / Parasitic capacitance / Ethernet / Connector / Transmission line

1 はじめに

近年のインターネットを用いたアプリケーションの増大により、データセンターで扱う情報量が格段に増加しており、より高速大容量で安価な通信ケーブルが求められている。最も高速な通信ケーブルは光ファイバであるが、光ファイバ及び送受信モジュールがかなり高価なものとなる。一方、最も低価格な通信ケーブルとして普及しているのがイーサネット用のツイストペアケーブルである。現在実用化されているケーブルは10 Gbpsまでであるが、次の規格として40 Gbpsの通信方式が検討されている。

従来、ツイストペアケーブルは低速通信用で、高速通信には利用できないと考えられてきたが、エラー訂正等を含む通信方法の工夫および通信ケーブルの品質向上によって10 Gbpsの通信速度まで到達した。これに次ぐ40 Gbpsの通信では、更なる通信方式の改善およびケーブルの品質向上が要求されている。我々は、この40 Gbpsの通信に適合するケーブルを開発するために、その評価法について検討を行っている。今回は、その基礎的な検討として、近端クロストークの大きさについて検討した。

2 クロストーク

図1に示す信号を送送するLine1および近接するLine2があるとき、Line1からLine2へ漏れ出す信号をクロストーク(漏話)と呼ぶ。このクロストークには2種類があり、信号の送信側(TX)に現れるものを近端クロストーク(Near End Crosstalk: NEXT)、受信側(RX)に現れるものを遠端クロストーク(Far End Crosstalk: FEXT)と呼ぶ。

クロストークは線路の不完全さに起因して発生する。一般的なクロストークの性質として、局所的な不完全性はNEXTに影響が大きく、全体的な不完全性はFEXTに大きく影響する。今回開発の対象としているLANケーブルにおいては、ケーブ

ルそのものは、工場において均質に長尺のケーブルを作製し、それを切り出すため、均質なものが用意される。一方、コネクタ部においては、切り出したケーブルの先端をほぐし、コネクタと接続し、コネクタ内の接続やプリント基板上での接続等、均質な伝送線路を確保することは非常に困難である。そこで、この局所的な不整合によりNEXTが懸念される。

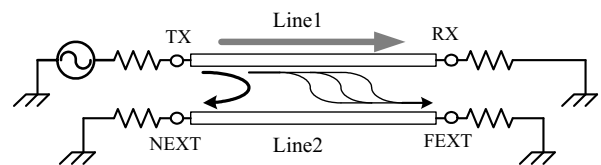


図1 クロストーク

3 クロストークの推定

クロストークを厳密に評価するためには伝送線路構造を電磁界シミュレーション等で解析する必要があるが、今回は初期の検討として、等価回路による簡易な評価を行うこととした。

対象構造としては、2組の差動線路の伝送を考える。LANケーブルは4組のツイストペア(TP)差動線路による伝送であるが、現象把握を目的とするため、そのうちの2組に着目する。

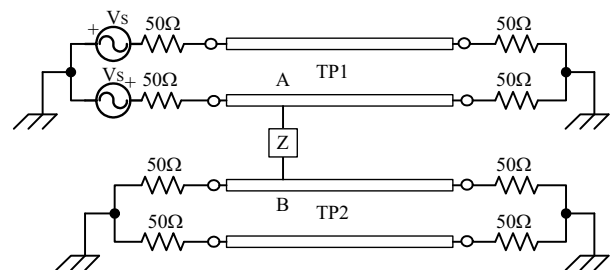


図2 結合線路モデル

この2組の差動線路の不整合として考えられるのは局所的な静電結合(寄生容量)である。これは等価回路上では図2に示す結合インピーダンスZ

* サンワサプライ(株)

として表すことができる。TP1 において等価波源 V_s で表される信号を伝送する際に TP2 に発生するクロストークの大きさを計算する。

ここで、簡単化のため、差動線路は疎結合として扱うこととする。この場合、結合に寄与しない線路は考慮する必要がなくなる。また、理想的な線路が整合終端されている場合には、線路を除去して整合終端を接続した状態と等価となるため、図3のように簡単化できる。

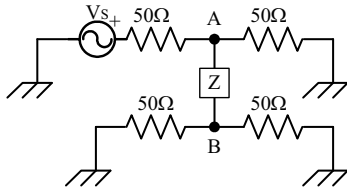


図3 結合等価モデル

ここで、 $|Z| \gg 50 \Omega$ と仮定すると、TP1 への影響は小さいと考えることができ、A 点の電位 V_A は結合インピーダンス Z が存在しない場合と同じと近似できる。従って、A 点の電位 V_A は

$$V_A = V_s / 2 \quad (1)$$

と表される。この場合の結合点 B の電位 V_B は分圧により、

$$V_B = V_A \frac{25}{Z+25} = \frac{V_s}{2} \frac{25}{Z+25} \quad (2)$$

と表すことができる。

従って、NEXT は

$$\text{NEXT} = \frac{|V_s|}{|V_B|} = \frac{|Z+25|}{12.5} \cong \frac{|Z|}{12.5} \quad (3)$$

と表すことができる。

例として、周波数 1 GHz における寄生容量が 0.05 pF の場合について考える。

結合インピーダンス Z は

$$|Z| = \frac{1}{2\pi \times 10^9 \times 0.05 \times 10^{-12}} = 3.2 \times 10^3 (\Omega)$$

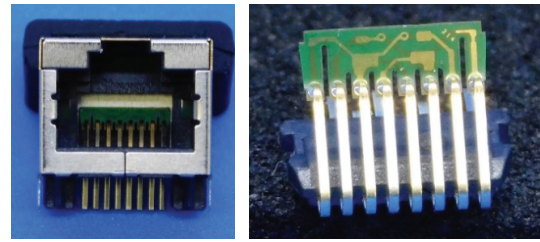
となる。この場合の NEXT は

$$\text{NEXT(dB)} = 20 \log \left(\frac{3.2 \times 10^3}{12.5} \right) = 48.1(\text{dB})$$

となる。これを、規格値 η と比較してみる。40 Gbps 伝送のケーブルでは 1 GHz の NEXT は 47.9 dB 以上が要求される。今回の計算例はほぼ規格の下限である。寄生容量の増加に伴って NEXT は減少するため、寄生容量が 0.05 pF を超える場合には規格を満たさないこととなる。

今回の検討モデルでは、線路の片側のみ寄生容量を配置したが、逆側にも配置すると逆極性のクロストークとなるため、相殺することができる。即ち、今回検討した寄生容量は、相殺しきれなかったアンバランス分であると考えられる。

また、今回の検討モデルは 1 点にのみ寄生容量が存在する場合を検討したが、実際のコネクタ接



(a) 全体 (b) 付加基板

図4 市販コネクタ例

続においては複数の箇所寄生容量が存在するため、それぞれの箇所における寄生容量はこれよりも小さな値に抑えることが必要となり、0.01 pF 以下の精度でバランスをとる必要があると考えられる。

4 市販コネクタの検証

図4(a)は市販の10 Gbps用 LANコネクタの外観である。このコネクタの内部、電極の奥に小さな基板が見られる。この部分を取り出したものが図4(b)である。基材の両面に金属パターンが接続されており、対向する面でコンデンサを形成している。線路間にこの小容量のコンデンサを付加することにより、元々の構造で生じているアンバランスを補償しているものと推定される。

最も大きな対向面は1 mm×0.5 mm程度であり、基材の厚さは約0.1 mmであった。基材の誘電率が4と仮定すると、このコンデンサの容量は約0.2 pFとなる。これよりもはるかに小さな対向面も複数見られることから、0.01 pF程度のアンバランスまで補償しているものと推定される。

5 結論

40 Gbps伝送を行うLANケーブルにおいては、近端クロストーク(NEXT)を規格に適合させるためには寄生容量を0.05 pF以下に抑えることが必要であることがわかった。複数の箇所存在することを考慮すると、個々の寄生容量を0.01 pF以下に抑えることが必要であると思われる。また、これよりグレードの低い市販LANコネクタにおいても0.01 pF程度まで寄生容量を補償していると推定されるものが見られた。

今後のケーブル評価において試験治具等を作製する際には、0.01 pF程度までの寄生容量を確認して設計する必要があることがわかった。

参考文献

- 1) ISO/IEC TR 11801-9901: 2014, Information technology – Generic cabling for customer premises – Part 9901: Guidance for balanced cabling in support of at least 40 G bit/s data transmission (情報技術 – 加入者宅用の共通配線 – 第9901部: 40 G bit/s以上のデータ伝送支援平衡配線の手引)

分子動力学計算による

金属酸化物あるいは金属表面とポリエチレンの接着性評価

Evaluation of adhesion between polyethylene and metal oxide or metal surface through the molecular dynamics calculation

中西 亮太

Ryota NAKANISHI

キーワード 分子動力学計算 / 接着 / 金属酸化物 / 金属 / ポリエチレン

KEY WORDS Molecular Dynamics Calculation/ Adhesion / Metal Oxide / Metal / Polyethylene

1 はじめに

金属と樹脂の接合部品は、軽量化による燃費向上や環境負荷軽減の要求から、自動車や航空機をはじめ、産業分野で必要不可欠となっている。そのため、接合が行われた製品の耐久性や信頼性を確保するためには、接合性の向上が重要となっている。それらの実験結果は多く報告されているが^{1,2)}、計算機シミュレーションにより接合性を評価した研究は少ない。これまで、著者は、第一原理計算を用いて、金属と樹脂との接着性の評価に関する報告を行ってきた^{3,4)}。しかしながら、第一原理計算は、扱える原子数も100原子程度と少なく、0 Kでの化学結合状態を予測する計算法であるため、計算における制約が多かった。一方、分子動力学計算は、扱える原子数が10000原子程度と多く、温度を考慮した計算が可能であり、接着性を評価するうえでは有効な手法である。本報告では、分子動力学計算を用いて、金属酸化物と金属表面を計算対象として、ポリエチレン(以下 PE)との相互作用エネルギーを求め、接着性の評価を試みた。対象とした系は、酸化アルミニウム(以下、 Al_2O_3)とアルミニウム(以下、Al)と酸化鉄(以下、FeO)と鉄(以下、Fe)である。なお、現実表面は、酸化物面と金属面が混在していることから、両面を計算した。計算結果の検証のために、引張試験片を作成し、接着性を評価した。

2 計算方法

使用したプログラムパッケージはダッソー・システムズのForcite Plusである。計算に用いた力場は、CompassIIである。

Al_2O_3 表面上のPEの安定構造を以下の手順で求めた。

(1) バルクの Al_2O_3 構造の構造最適化を行い、最安定構造を求めた。最安定構造を用いて、 $100 \text{ \AA} \times 100 \text{ \AA}$ の Al_2O_3 表面モデルを作成した。計算対

象面を(100)、(110)、(111)面とした。それらの表面 1.5 \AA 上にPEを配置した。図1に Al_2O_3 表面のPEの計算モデルを示す。図1に示すセルには、H原子を2010個、C原子を1000個、O原子を5040個、Al原子を3360個含んでいる。 Al_2O_3 は固定し、PEは全原子が自由に動けるようにして構造最適化を行った。

(2) 最安定構造の計算モデルを用いて、表1に示す計算条件を用いて、分子動力学計算を行い、 Al_2O_3 表面のPEの全エネルギーを求めた。

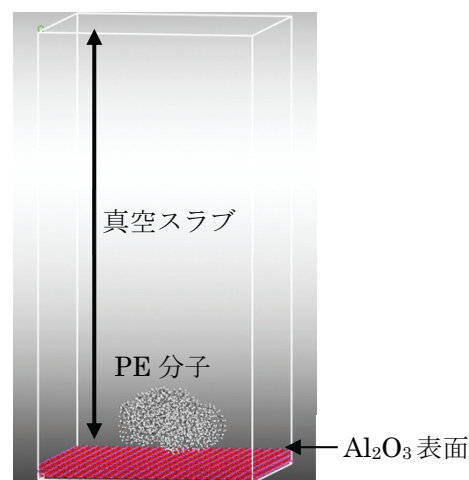


図1 Al_2O_3 表面のPEの計算モデル

表1 計算条件

Ensemble	NVT
Initial temperature (K)	298
Mid-cycle temperature (K)	453
Heating ramps per cycle	500
Dynamics steps per ramp	100
Total number of dynamics steps	100000
Time step (fs)	1

(3) Al_2O_3 表面とPEの相互作用エネルギー E は次式に従い求めた。

$$E = E_{tot} - (E_{ref1} + E_{ref2})(\text{kcal/mol})$$

ここで E_{tot} は Al_2O_3 表面のPEの全エネルギー、 E_{ref1} は Al_2O_3 表面の全エネルギー、 E_{ref2} はPEの全エネルギーである。Al、FeO、Feについても同様の計算を行った。

3 実験方法

Al(A1050)とPEの接着試験片は、AlとPEにプラズマを照射し、表面のコンタミを除去した⁵⁾。その後、Alを十字に組み合わせ、その間にPEを入れ、熱プレス機を用いて180 °Cで120 s加熱し、冷却することにより作製した。引張試験機(Instron社製3382)を用いて、引張速度1 mm/minで、最大荷重を測定した。試験後、樹脂の面積を測定し応力を算出した。測定数は、3点とした。Feについても同様に試験片を作製し、測定を行った。

4 計算結果

分子動力学計算により得られた相互作用エネルギーを図2に示す。ここで、相互作用エネルギーは(100)、(110)、(111)面の平均値である。相互作用エネルギーが低いほど接着性が高いと考える。(a)の結果から、 Al_2O_3 は-1253 kcal/molで、FeOは-1357 kcal/molであった。(b)の結果から、Alは-2451 kcal/molで、Feは-5250 kcal/molであった。分子動力学計算では、10 kcal/molの差があると有意差といえる。よって、本計算結果から、FeOとFe表面は Al_2O_3 あるいはAl表面よりも接着性が高いと推察される。また、金属酸化物表面と金属表面では、金属表面の方が接着性が高いことも推察される。

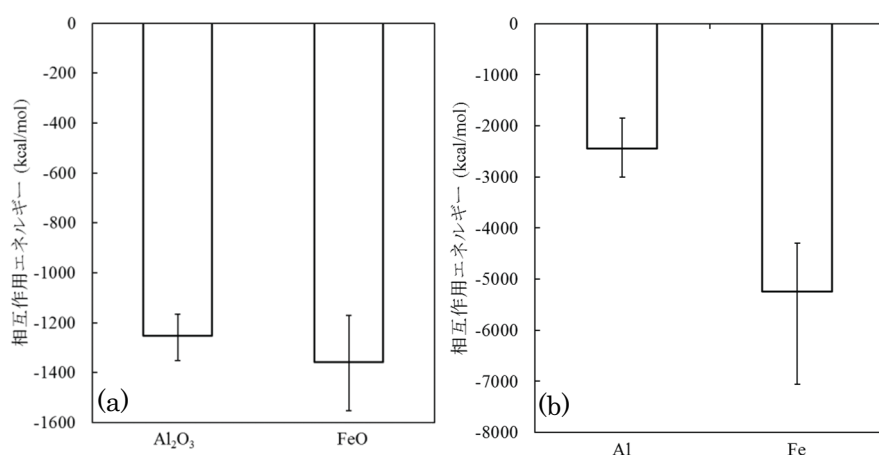


図2 分子動力学計算により得られた相互作用エネルギー (a) 金属酸化物表面とPE、(b)金属表面とPE

5 実験結果

AlあるいはFeとPEの接着強度を図3に示す。接着強度は、Alで1.2 N/mm²、Feで2.7 N/mm²であった。本実験結果から定性的ではあるが計算結果と対応する結果が得られた。

6 まとめ

分子動力学計算を用いて、金属酸化物と金属表面を計算対象として、ポリエチレン(以下PE)との相互作用エネルギーを求めた。FeOとFeにおいて、相互作用エネルギーの低い結果が得られ、 Al_2O_3 とAlよりも接合性が高い指針を得ることができた。本計算結果は、実験結果と定性的に対応した。今後は、本評価法を工業分野へ応用する予定である。

参考文献

- 1) 小原田 一真, 安田 光伸: 東レリサーチセンター The TRC News, 116, 19 (2013)
- 2) 中前 勝彦: 表面技術, 66, 338 (2015)
- 3) 稲垣 淳, 中西 亮太, 川野 道則, 末岡 浩治: 日本接着学会, 52, 287, (2016)
- 4) 中西 亮太, 他: 岡山県工業技術センター報告, No.43, 44, (2016)
- 5) 中西亮太, 松岡大樹, 水戸岡豊: 第14回 日本接着学会関西支部 若手の会講演要旨集, 21 (2018)

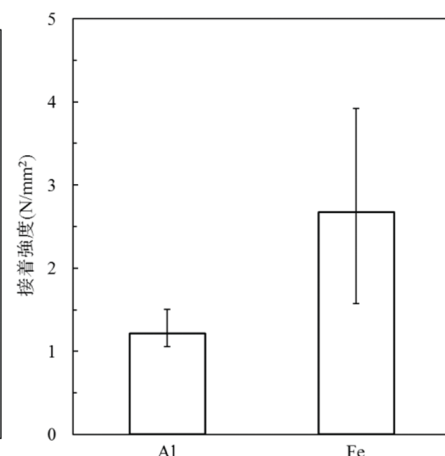


図3 AlあるいはFeとPEの接着強度

大気圧プラズマの照射距離が ポリエチレンの表面特性に及ぼす影響

Effect of irradiation distance of atmospheric plasma on properties-polyethylene surface

中西 亮太・松岡 大樹・水戸岡 豊

Ryota NAKANISHI, Hiroki MASTUOKA, Yutaka MITOOKA

キーワード 大気圧プラズマ / 化学状態 / 接触角 / 接着強度

KEY WORDS Atmospheric plasma / Chemical state / Contact angle / Adhesive force

1 はじめに

樹脂と金属の接着は、軽量化による燃費向上や環境負荷軽減の要求から、産業分野で必要不可欠である。最近では、接着性向上の方法の1つとして、大気圧プラズマが注目されている¹⁾。大気圧プラズマは、高密度ラジカルを低温で照射するため、熱に弱い樹脂材料などの表面にもダメージを与えることなく、高速で処理することが可能である²⁾。特に難接着材料や異種材料の接着・接合やドライ洗浄の分野で広く利用されており、プラズマ処理による表面特性の変化を理解することは非常に重要となっている。そこで本研究では、プラズマ照射距離を変化させて、ポリエチレン(以下、PE)にプラズマ処理した。その後、光電子分光分析装置(以下、XPS)を用いて化学結合状態および接触角計を用いて表面の濡れ性を評価した。最後にプラズマ処理が接着性に与える影響を調査するためにアルミニウム合金(以下、Al)とPEを接着し、その強度を測定した。

2 実験方法

大気圧プラズマには、株式会社FUJIのFPE20を用いて、酸素(以下、O)ラジカルを付与した。試料には、エタノールで脱脂した高密度PEを用いた。大気圧プラズマの概要を図1に示す。本装置は、ヒータとプラズマが一体となった構造である。ヒータを使用した場合、試料表面が773 Kになるため、本試験では、ヒータを使用しない条件で処理した。照射条件は、ステージ速度を5 mm/sと固定し、プラズマヘッド先端から試料表面までの距離を2.5、5、10、15、20 mmとして処理を1回行った。

表面の化学結合状態は、XPS (X-ray photoelectron spectroscopy : アルバック・ファイ製VersaProbeIII)を用いて表1に示す条件により評価した。分析ではワイドスキャン (0-1100 eV) とナロースキャン (280-295 eV) を行った。ナロースキャンで得られた強度比から相対感度係数を用いて半定量値の算

出を行った。

接触角測定には接触角試験機(協和界面科学社製 DropMaster500)を使用し、1.5 μ lの蒸留水を滴下後、3秒後に接触角を測定した。測定数は3点とした。

接着強度測定用の試験片は、Al(A1050)を十字に組み合わせ、その間にPEを入れ、熱プレス機を用いて180 $^{\circ}$ Cで120 s加熱し、400 Nを負荷して冷却することにより作製した。AlとPEの試験片は、接着前にエタノールで表面を脱脂した。また、PE両面へのプラズマ処理は接触角が最も低くなった条件を用いた。引張試験機(Instron社製3382)を用いて、引張速度1 mm/minで、最大荷重を測定した。試験後、PEの面積を測定し応力を算出した。測定数は、3点とした。

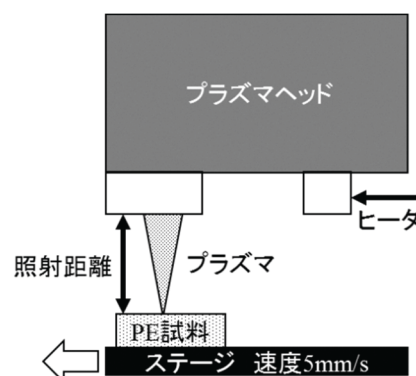


図1 大気圧プラズマ照射の概要

表1 XPS の測定条件

X線管球	Al (1486.6 eV) 単色化
X線出力	25 W
X線脱出角度	45度
測定領域	約100 μ m径

3 実験結果

プラズマ処理(照射距離2.5 mm)と未処理のそれぞれのワイドスキャンスペクトルを図2に示す。この図から、いずれの試料も炭素(以下、C)、O、シ

リコン(以下、Si)が検出されていることがわかる。続いて、図3にC1sのナローズキャンスペクトルを示す。C1sのピーク強度で規格化しているが、プラズマ処理をした試料は、未処理に対して、COおよびCOOの強度が増大していることから、カルボニル基またはカルボキシ基が付与されていると推測される。図4にプラズマ照射距離とXPSにより得られたO/Cの関係を示す。未処理では、O/Cは0.14であったが、プラズマ処理によりO/Cは増大した。照射距離間が短くなるにともない、O/Cは増大傾向となった。図5にプラズマ照射距離と接触角の関係を示す。未処理では、接触角が96°であったが、プラズマ処理により接触角は低下した。照射距離間が短くなるにともない、接触角は減少傾向となった。特に照射距離2.5 mmと5 mmにおいて、表面は親水性となった。本結果から、プラズマ処理により濡れ性が向上することが確認された。図6にAlとPEの接着強度を示す。未処理では、未接着であったが、プラズマ照射することで、接着困難であったAlとPEを直接接着することが可能となった。接着強度が向上した理由として、図4の結果からOが付与されたことが要因と考えられる。

4 まとめ

PEにプラズマ処理を行い、化学結合状態と濡れ性を評価した。さらにAlとPEとの接着強度も評価した。XPSの結果から、プラズマ処理の照射距離の減少にともなって、Oが表面に付与されることがわかった。このことから、表面のぬれ性が向上し、親水性を付与することができた。その結果、接着困難であったAlとPEの接着が可能となった。カルボニル基またはカルボキシ基と接着強度の関係については、今後の課題である。

謝辞

大気圧プラズマ処理装置をご提供いただいた丸文株式会社殿に謝意を表します。

参考文献

- 1) 小川敏夫：“プラスチックの表面処理と接着”，共立出版 (2016)
- 2) 沖野晃俊：“大気圧プラズマの技術とプロセス開発 《普及版》”，シーエムシー出版 (2017)

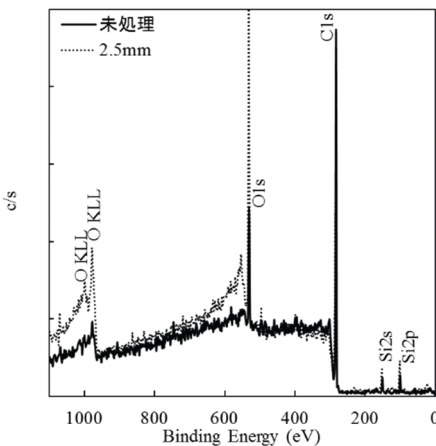


図2 XPSによるワイドスキャンスペクトル

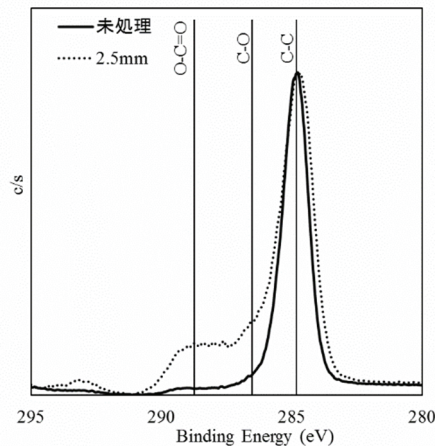


図3 C1sのナローズキャンスペクトル

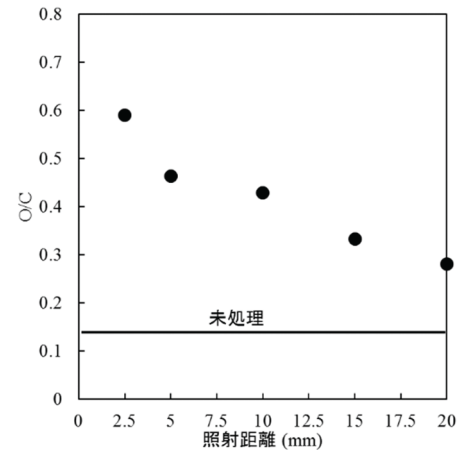


図4 照射距離とXPSにより得られたO/Cの関係

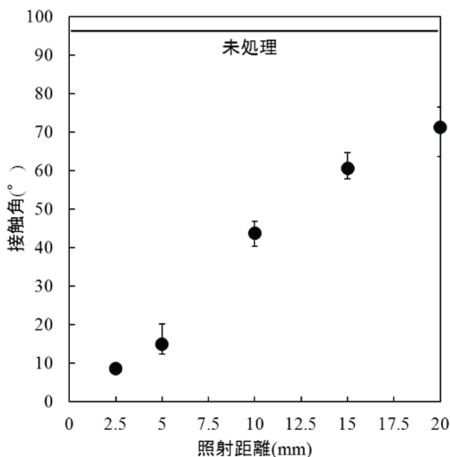


図5 照射距離と接触角の関係

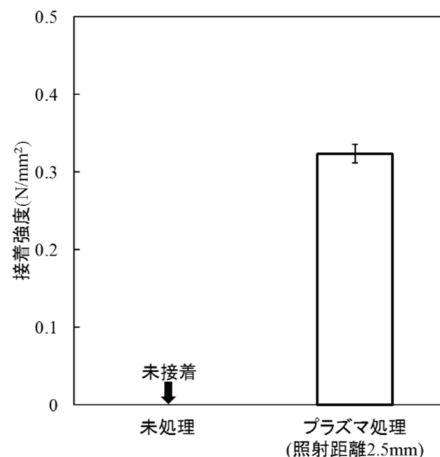


図6 AlとPEの接着強度

二酸化塩素水溶液によるゴムの強度低下とその機構

Degradation of tensile strength of rubber in chlorine dioxide solution and its mechanism

石田拓也, 岩薮 仁

Takuya ISHIDA, Hitoshi IWABUKI

キーワード Chroline dioxide / Degradation/ Tensile strength / Nanomechanical measurement

KEY WORDS 二酸化塩素 / 劣化 / 引張強度 / ナノ力学物性測定

1. はじめに

食品産業において、殺菌剤によるパッキン、ガスケットなどのゴムの劣化は、異物混入や漏水事故の原因となる。著者らは、代表的な殺菌剤である次亜塩素酸(HOCl)水溶液において、HOClの解離平衡に着目し、ゴムの劣化に関する研究を進めてきた。HOClについては劣化機構の解明が進み、耐久性評価も可能になりつつあるが、HOClよりも強力かつ残留の少ない殺菌剤として近年注目を集める二酸化塩素(ClO₂)水溶液がゴムに及ぼす影響を検討した例はこれまでに報告されていない。本研究では、濃度、温度を変化させたClO₂水溶液にゴムを浸せし、ClO₂により劣化した試料を作製した。劣化試料に対して引張試験、EPMA分析、原子間力顕微鏡(AFM)によるナノ力学物性測定を行うことでClO₂によるゴムの強度低下機構について考察した。

2. 実験方法

2.1 試料の作製

エチレン含量54%、ジエン含量4.5%のエチレンプロピレンゴム(EPDM) (JSR(株)製 EP22) 100重量部に、HAF級カーボンブラック(CB)60重量部、架橋剤(ジクルミルパーオキサイド) 2重量部、ステアリン酸1重量部を配合し、オープンロールによる混練後、金型で架橋して、円筒状試料(外径: 10 mm, 内径: 8 mm, 厚み: 1 mm)を得た。

2.2 浸せき試験

NaClO₂試薬(関東科学(株)製)にクエン酸を所定量加えることでClO₂水溶液を調製した。調製したClO₂水溶液をpH4のリン酸ナトリウム緩衝液で希釈し、ClO₂濃度を6.7 ppm~50 ppmとした。ClO₂濃度は、デジタル残留塩素テスター(タクミナ(株)製 DCT-05)を用いて測定した。浸せき試料には、円筒状試料の内部を蒸留水で満たし、両端をフッ素樹脂で栓をしたものを用い、試料の外面のみがClO₂水溶液に接するようにした。浸せき温度は278 K~313 Kとし、48時間浸せきした。

2.3 EPMA 測定

電子線プローブマイクロアナライザ (EPMA ; 日本電子(株)製JXA-8500FS)の線分析によって塩素

(Cl)元素の深さ方向分析を行った。加速電圧を15 kV、ビーム電流を50 nAとして、同一試料の異なる場所で9回測定し、その平均値をCl元素分布とした。塩素拡散深さ(D_{Cl})の値は、EPMAプロファイルのX線強度の低い平坦領域において、平均(μ)と標準偏差(σ)を求め、X線強度が $\mu+3\sigma$ を下回った深さとした。

2.4 引張試験

精密万能試験機(島津製作所(株)製 オートグラフAG-Xplus)により、試料の力学特性を評価した。測定試料にはリング状試験片を用いた。リング状試験片は、円筒状試料を1 mm幅にスライスすることで作製した。引張速度を100 mm/minとし、サンプル数は5とした。また、モデル試料として、所定の長さの切り欠きを入れた試料を作製し、同様の条件で試験を行った。

2.5 ナノ力学物性測定

AFM測定用の試料は、クライオミクロトームにより173 Kで切削することで得た。AFMは、Nanoscope V Controller、MultiMode8 (Bruker社製)を用い、カンチレバーはScanAsyst-Fluid (R=24 nm, k=1.7 N/m) (Bruker社製)を用いた。測定はPeakForce QNM モード(250 Hz)で行い、フォースカーブをJKR2点法により解析することで弾性率像を得た²⁾。

3. 結果と考察

3.1 塩素拡散深さと引張強さの関係

図1に劣化試料の D_{Cl} と引張強さ(T_b)の関係と切り欠き長さ(L)と T_b の関係を示す。 T_b は D_{Cl} の増加に伴って低下し、 T_b と D_{Cl} の関係は $T_b = -3.47 \times \log D_{Cl} + 25.87$ で近似することができた。決定係数は0.90だった。また、 L の増加に伴って T_b は低下し、 T_b と L の関係は $T_b = -5.43 \times \log L + 38.08$ で近似することができた。決定係数は0.99だった。

図2に劣化試料の D_{Cl} と100%応力(M_{100})の関係と L と M_{100} の関係を示す。 D_{Cl} と M_{100} は線形関係にあり、 $M_{100} = 4.38 \times 10^{-3} \times D_{Cl} + 1.98$ で近似することができた。決定係数は0.83だった。一方、モデル試料の M_{100} は L に依存した変化は見られなかった。

3.2 ナノスケールにおける弾性率の変化

図3にClO₂濃度を50 ppmとし、温度を変化させて48時間浸せきした試料の表面近傍における弾性率像を示す。像中の明るい部分は弾性率の高い部分であり、充填剤のCBに該当する。図3の弾性率像からCB領域を除外し、ゴム領域のみの弾性率分布を求めた。その結果を図4に箱ひげ図で示す。温度の上昇に伴って、弾性率の分布が高弾性率側にシフトすることが明らかとなった。

3.3 強度低下機構

図1~4の結果から強度低下機構について考察した。ClO₂が拡散・反応した領域は図2のM₁₀₀の増加および図3、図4の弾性率の増加から硬化すると考えられる。また、LとD_{Cl}の増加に伴う強度低下曲線がほぼ一致したことから(図1)、引張試験時にはD_{Cl}の深さまで亀裂が形成され破壊に至ることが考えられる。

4. まとめ

ClO₂水溶液に浸せきしたゴムのD_{Cl}と力学物性の関係を調査した。その結果、D_{Cl}の増加に伴い、T_bが低下し、M₁₀₀が増加することが明らかになった。また、ナノスケールにおける弾性率像から劣化の進行に伴う弾性率の増加が確認できた。以上の結果から強度低下機構として、ClO₂が拡散・反応した劣化層が高弾性率化し、伸長時に劣化層に亀裂が入ることで破壊に至る機構が考えられる。

参考文献

- 1) 岩落仁, 石田拓也, 福崎智司: マテリアルライフ学会誌, 31, 19 (2019)
- 2) 中嶋健, 劉浩, 伊藤万喜子, 藤波想: Journal of the Vacuum Society of Japan, 56, 258 (2013)

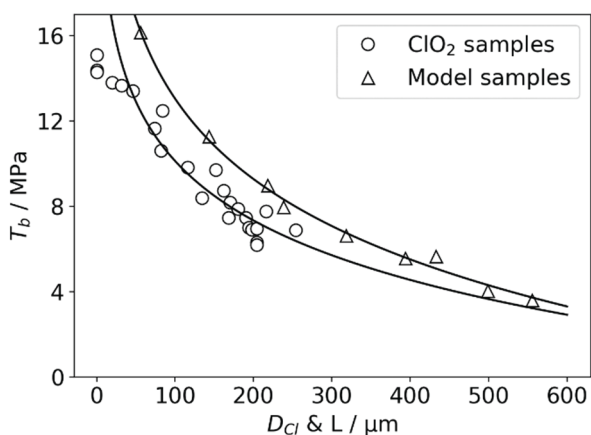


図1 ClO₂水溶液に浸せきした試料のD_{Cl}とT_bの関係

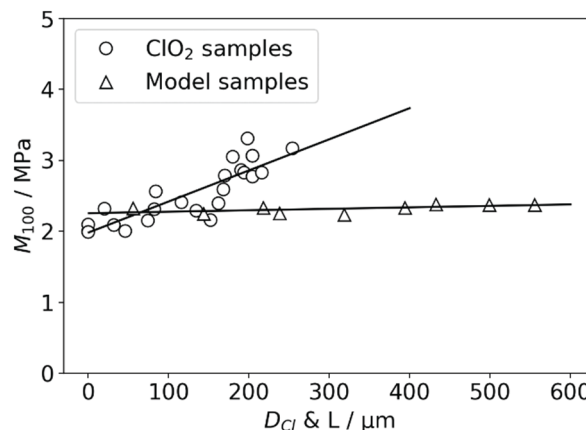


図2 ClO₂水溶液に浸せきした試料のD_{Cl}とM₁₀₀の関係

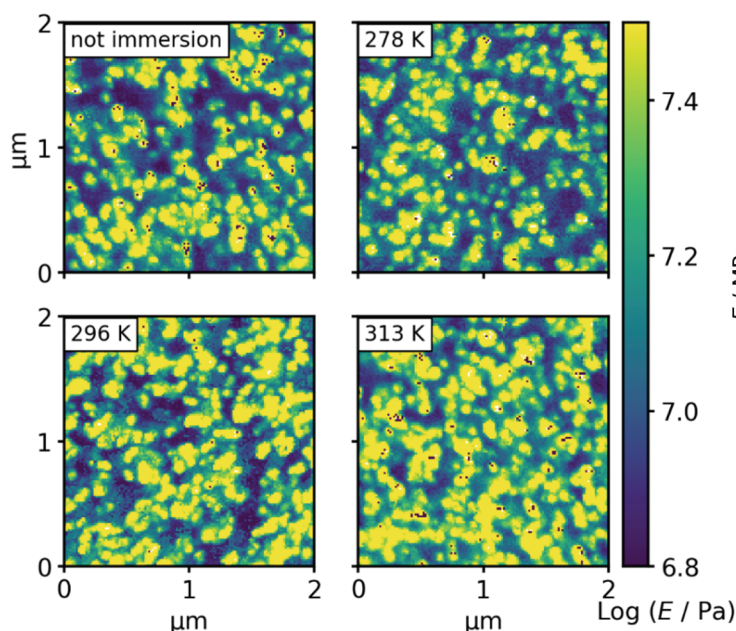


図3 ClO₂水溶液に浸せきした試料の弾性率像

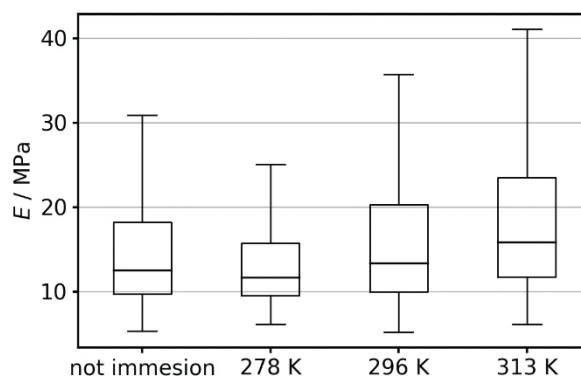


図4 ゴム領域における弾性率の変化

ハロイサイトのエポキシ樹脂接着剤への適用検討

Application test of halloysite for epoxy resin adhesive

日笠 茂樹・甲加晃一・梅原 智直¹・岡崎 健一¹・城石 知紀¹

Shigeki HIKASA, Kouichi KOUKA, Tomonao UMEHARA, Kenichi OKAZAKI, Tomonori SHIROISHI

キーワード ハロイサイト / フィラー / プラスチック
KEY WORDS Halloysite / Filler / Plastics

1 はじめに

ハロイサイトの化学組成は含水ケイ酸アルミニウム ($\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$) で、平板状のカオリンと同じ組成でありながら形状はチューブ構造になっている。外側はシロキサン ($-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$) のマイナスチャージ、内側はアルミノール ($-\text{Al}-\text{O}-\text{Al}-$) のプラスチャージであり、一つの結晶体としては非常に安定的な結晶構造を持っている。ところで、このハロイサイトと樹脂の複合材料に係わる諸物性が報告されている。¹⁾³⁾ それら報告の中で、ハロイサイトを添加することで、熱安定性²⁾や衝撃強度¹⁾が向上することが明らかにされている。しかしながら、諸物性の中でも、接着剤として用いるエポキシ樹脂にハロイサイトを添加した場合の接着性に関しては十分に検討されていない。

そこで、本研究では、ハロイサイト/エポキシ樹脂複合材料の接着性に係わるポットライフ、引張せん断接着強さ、硬化時発熱温度を評価して、ハロイサイトのエポキシ樹脂接着剤への添加効果を検討した。

2 実験方法

2.1 材料

表 1 に、材料の内訳を示す。ポットライフ測定および引張せん断接着強さ測定に用いるサンプルは、エポキシ樹脂、硬化剤、ハロイサイトを 3 分間混合攪拌することにより作製した。

表 1 材料

主材	ビスフェノールA型 (jER828)	50 g
硬化材	ジエチレン トリアミン	4 g
ハロイサイト		0~5.4 g

2.2 ポットライフ (手塗り)

恒温水槽及び恒温恒湿槽を用いて、全ての成分を $23 \pm 2^\circ\text{C}$ に保持した。表 1 に従って、材料を計量し、2000 rpm で 3 分間攪拌した。この攪拌直後、時間の計測を開始した。少量の接着剤を取り出し、アルミニウム板に塗り広げようとするとき、塗り広げられなくなるまでの経過時間をポットライフとした。

2.3 発熱反応温度測定

硬化剤を添加し 3 分攪拌後、1 分ごとに接着剤温度を測定し、経過時間と接着剤温度をプロットして、発熱反応温度を評価した。

2.4 引張せん断接着強さ

表 1 に従って、材料を計量し、2000 rpm で 3 分間攪拌した。大きき $100 \times 25 \times 1.6$ mm の冷間圧延鋼板 (SPCC) またはステンレス板 (SUS304) を準備し、接着部分の面積 12.5×25 mm、接着部分の厚み 0.2 mm になるように、厚さ 0.2 mm のワイヤースペーサーを用いて試験片を作製した。図 1 に、引張せん断接着強さ測定の試験片模式図を示す。50、100、150°C で 90 分間加熱して硬化させた。次に、万能材料試験機 (オートグラフ AG-100kNXPlus、(株)島津製作所) を用いて、引張速度 2 mm/min. で破断時の最大荷重値を計測した。引張せん断接着強さは、この最大荷重値を接着面積 (12.5×25 mm) で除して求めた。

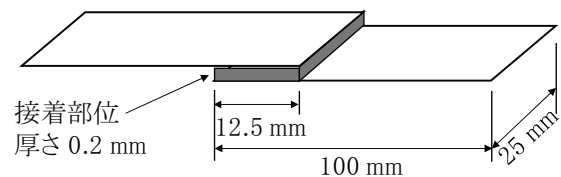


図1 引張せん断接着強さ測定用試験片模式図

¹ (株) ファイマテック

3 結果と考察

図2は、手塗りのポットライフ測定結果である。ハロイサイトを多く添加することによって接着剤のポットライフが短縮することがわかった。また、図3は、接着剤温度の経過時間による変化である。

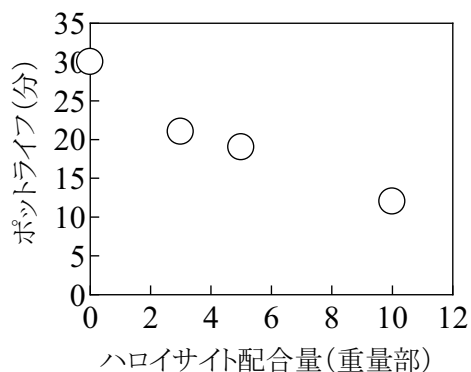


図2 ハロイサイトの配合によるポットライフの変化

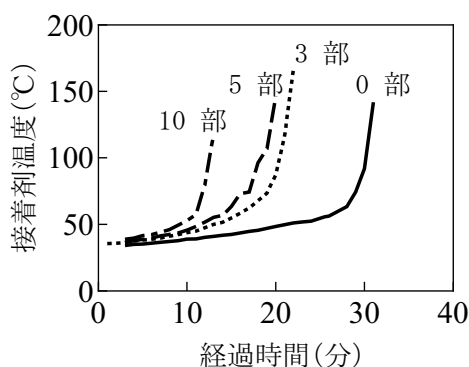


図3 接着剤温度の経時変化

ハロイサイトを添加することによって、硬化剤添加後の発熱が早く起こることがわかった。これらの結果は、双方ともハロイサイトの添加がポットライフを短縮させることを示している。これらポットライフの短縮効果は、ハロイサイトの活性な表面がエポキシ基の開環を促し⁴⁾、エポキシ樹脂の硬化反応を促進させるためと考えられる。

図4は、ハロイサイト未添加における引張せん断接着強さの加熱温度依存性である。硬化時の加熱温度を高くすると、引張せん断接着強さは向上した。また、被着体として、SUS304とSPCCを比較すると、引張せん断接着強さはほぼ同じであった。

図5は、SPCCを被着体とした際のハロイサイトの有無における引張接着せん断強さの加熱温度依存性である。また、図6は、SUS304を被着体とした際のハロイサイト

の有無における引張接着せん断強さの加熱温度依存性である。

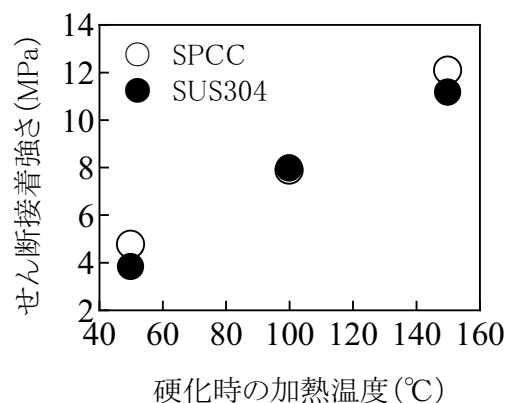


図4 ハロイサイト未添加での接着強さの硬化温度依存性

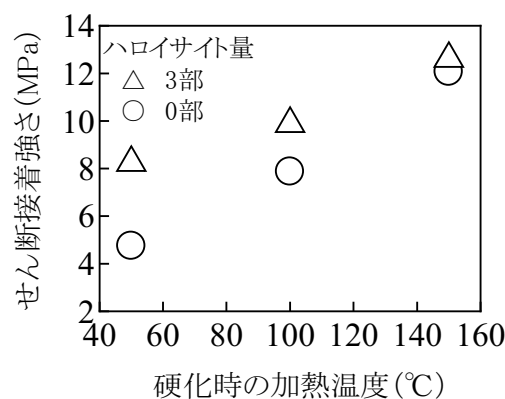


図5 接着強さの硬化温度依存性 (SPCC)

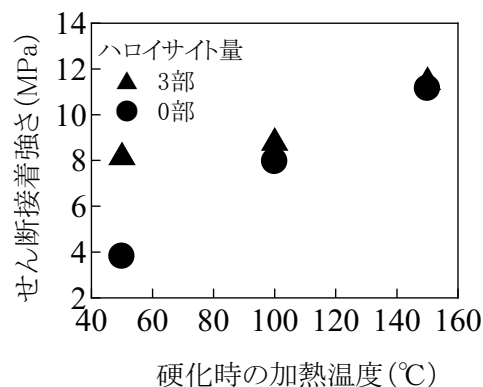


図6 接着強さの硬化温度依存性 (SUS304)

いずれの系も、硬化時の加熱温度が低い場合、ハロイサイト添加による接着性向上効果が顕著に観測された。これは、ハロイサイト添加により、エポキシ樹脂の硬化反応が速くなり、反応が十分に進行するためと考えられる。しかしながら、加熱温度が

高い場合、ハロイサイト添加による接着性向上効果はほとんどなかった。これは、ハロイサイトを添加しなくても、加熱により硬化反応が十分に進行するためと考えられる。ただし、接着剤は使用時に必ずしも加熱されるわけではないので、ハロイサイトの低温環境での接着性向上効果は有効と考えられる。

4 まとめ

エポキシ樹脂硬化時にハロイサイトを添加すると、硬化促進効果をもたらした。また、硬化時の加熱温度が低い場合、ハロイサイトを添加することで、引張せん断接着強さは大きく向上した。

参考文献

- 1) Y. Ye, H. Chen, J. Wu and L. Ye, *Polymer*, **48**, 6426 (2007).
- 2) M. Du, B. Guo and D. Jia, *Polym. Int.*, **59**, 574 (2010).
- 3) M. Liu, Z. Jia, D. Jia and C. Zhou, *Progress in Polym. Sci.*, **39**, 1498 (2014).
- 4) M. Jouyandeh, Z. Karami, O. M. Jazani, K. Formela, S. M. R. Paran, A. Jannesari, M. R. Saeb, *Progress in Organic Coatings*, **126**, 129 (2019).

外部発表

誌 上 発 表

1. Effect of flexible plates and micro-orifices on acoustic filter response for frequency specific earplugs

(Acoustical Science and Technology Acoustical Science and Technology 2019

Vol. 40, No. 4 令和 1 年 7 月)

眞田 明、中川 博*

(*日本音響エンジニアリング(株))

騒音の発生する現場において耳を保護するため耳栓が用いられる。しかし、実際の作業現場では、警報音、装置の異常音など聞き取る必要が高い音も存在する。このため、耳栓を装用することで必要な音が聞こえず、作業や業務に支障が出ることも多い。これらのことから、特定の音を通過させ、その周波数を調整可能な機能を有する耳栓として、弾性板と微小孔によって構成される音響フィルタを組み込む構造を提案する。弾性板や微小孔の特性が遮音性能に与える影響について、伝達マトリクス法による計算結果と実験結果から明らかにする。

2. 無通風箱培養法を利用した固体培養における麹菌の生育と酵素生産に関する研究

(生物工学会誌 Vol.98, No.3 令和 1 年 7 月)

伊藤 一成

令和元年度(2019 年度)の日本生物工学会の理事会において、上記題目の研究に対して日本生物工学会が授与する生物学奨励賞(江田賞)の受賞が決定した。受賞にあたって別紙の通り、受賞講演(講演済)および受賞業績の内容について論文の執筆を依頼されていたため、固体培養の現状とそれに対する取り組みについて、これまで得られた成果とともに紹介する。

3. ENSEMBLE LEARNING IN CNN AUGMENTED WITH FULLY CONNECTED SUBNETWORKS

(arXiv:2003.08562, 2020 令和 2 年 3 月)

平田 大貴、高橋 規一*

(*岡山大学大学院自然科学研究科)

畳み込みニューラルネットワーク(CNN)は近年の画像認識タスクにおいて最も注目されている AI モデルの一つである。本論文では、ベースとなる CNN モデルに全結合

のサブネットワークを複数接続した新しいニューラルネットワークモデルを提案する。このモデルでは、ベースとなる CNN の畳み込み層によって生成された特徴マップを分割してサブネットワークに入力し、出力の多数決処理を行う。このような方法で、手書き数字画像の MNIST、衣類画像の Fashion-MNIST、カラー画像分類の Cifar-10 の 3 種類のデータセットの認識精度が従来の CNN よりも向上する事を示す。また、MNIST データセットにおいては、他の先行研究と比較して最も高い認識精度(99.84%)となることを示す。

4. 岡山発のインホイールモータ車 OVEC-ONE、OVEC-TWO

(パワーエレクトロニクス学会 2019 年度 Vol. 45 令和 2 年 3 月)

勝田 智宣

平成 23～28 年度に岡山県が取り組んだ電気自動車プロジェクトの成果について投稿する。内容は、開発チームとしてプロジェクトの発足経緯、参加企業、また、開発した車両とモータとして、OVEC-ONE、OVEC-TWO、搭載したモータの磁界構造や機械構造、実施した各種試験について報告する。さらに、平成 29 年度以降の企業学との共同研究の概要についても報告する。

※令和元年 8 月 3 日に岡山理科大学で開催された、パワーエレクトロニクス学会 第 229 回定例研究会で発表したスライドがそのまま学会誌に掲載されます。

口 頭 発 表

No.	題 目	発 表 者	発表会名	年月日
1	Influence of carbon addition on mechanical properties of various magnesium alloys formed by thixomolding	○ 日野 実 ¹ 橋本 嘉昭 ² 水戸岡 豊	Annual World Magnesium Conference 2019, International Magnesium Association	R1.5.17
2	簡易的な変性セルロースナノファイバー乾燥体の作製とゴムへの添加効果	○ 幕田 悟史 浦部 匡史	日本ゴム協会2019年年次大会	R1.5.23
3	ナノ力学物性マッピングによるカーボンブラック分散性の評価	○ 石田 拓也 岩露 仁 多賀 善文 ³	日本ゴム協会2019年年次大会	R1.5.23
4	イソプレンゴムの伸長下における分子運動の不均一性	○ 岩露 仁 野村 竜生 ⁴ 梁 暁斌 ⁴ 中嶋 健 ⁴	日本ゴム協会2019年年次大会	R1.5.24
5	パルス法NMRによるA練りゴムの解析	○ 岩露 仁 岡本 浩二 ⁵ 藤 道治 ⁶ 中嶋 健 ⁴	日本ゴム協会2019年年次大会	R1.5.24
6	Development of Super Stainless Steel Coating with Improved Corrosion Resistance and Enhanced Hardness Focusing on Characteristics of Atmosphere Plasma Spray Process	○ 曾 珍素 ⁷ 横野 行修 ⁷ 佐古 さや香 ⁷ 恵良 秀則 ⁸ 村岡 賢 黒田 聖治 ⁹	International Thermal Spray Conference and Exposition 2019	R1.5.29
7	下部に隙間を有する円管状フィンを設置した水平加熱面の自然対流熱伝達	下山 力生 堀部 明彦 ¹⁰ 山田 寛 ¹⁰ ○ 井上 拓哉 ¹⁰	第56回日本伝熱シンポジウム	R1.5.31
8	Preparation of silver nanoparticles / nanocellulose composite material using a water jet milling	藤井 英司 古谷 充章 ○ 小倉 孝太 ¹¹	2019 International Conference on Nanotechnology for Renewable Materials	R1.6.4
9	Spatial distribution diagnosis of plasma by emission spectroscopy in DLC films formation using bipolar HiPIMS method	○ 福江 紘幸 ¹² 小山 裕雅 ¹² 岡野 忠之 ¹³ 黒岩 雅英 ¹³ 國次 真輔 中谷 達行 ¹²	ISSP2019 (The 15th International Symposium on Sputtering and Plasma Processes)	R1.6.14
10	A Flux Weakening Weakening Control Method for In-Wheel Motor Drives of Electric Vehicles	○ 笠 展幸 ¹² 勝田 智宣	The 28th IEEE International Symposium on Industrial Electronics	R1.6.14
11	プレートの捻りモードを用いた移動機構に関する研究	○ 岩田 和大 辻 善夫 眞田 明	日本機械学会第116回振動・音響研究会	R1.6.28
12	pHを制御した亜塩素酸ナトリウム溶液によるゴムの劣化	○ 石田 拓也 岩露 仁	マテリアルライフ学会第30回研究発表会	R1.7.4

No.	題 目	発 表 者	発表会名	年月日
13	種々のバイオマスナノファイバーを利用した銀／ナノファイバー複合体の作製	○ 藤井 英司 古谷 充章 小倉 孝太 ¹¹	セルロース学会第26回年次大会	R1.7.11
14	Preparation of diamond-like carbon films by using pulse-arc Ar plasma jet in C ₂ H ₂ atmosphere	○ 針谷 達 ¹⁴ 富永 凌也 ¹⁴ 谷本 壮 ¹⁴ 滝川 浩史 ¹⁴ 國次 真輔 ¹⁵ 金子 智 ¹⁵ 神谷 雅男 ¹⁶ 権田 英修 ¹⁷	XXXIV ICPIG & ICRP-1	R1.7.15
15	電解復号研磨後に得られるアルミニウム合金表面状態に及ぼす研磨条件の影響	○ 勝田 智宣	第11回軽金属学会中国四国支部講演大会	R1.8.3
16	岡山発のインホイールモーター車OVEC-ONE、OVEC-TWO	○ 築山 訓明 村上 浩二 ¹⁸ 辻 善夫 渡邊 哲史	パワーエレクトロニクス学会第229回定例研究会	R1.8.3
17	炭素粉末とSi粉末を同時に予混合したAZ91D合金射出成形品の機械的性質	○ 山添 照之 ¹⁹ 荒木 圭佑 ¹⁹ 金崎 真人 ¹⁹ 福田 忠生 ¹⁹ 尾崎 浩一 ¹⁹ 築山 訓明	第11回軽金属学会中国四国支部講演大会	R1.8.3
18	SiC粉末を予混合したAZ91D合金射出成形品の機械的	○ 荒木 圭佑 ¹⁹ 山添 照之 ¹⁹ 金崎 真人 ¹⁹ 福田 忠生 ¹⁹ 尾崎 浩一 ¹⁹ 築山 訓明	第11回軽金属学会中国四国支部講演大会	R1.8.3
19	アルミニウム合金の表面状態に及ぼす電解砥粒研磨条件の影響	○ 築山 訓明 村上 浩二 ¹⁸ 辻 善夫 渡邊 哲史	金属第59回鉄鋼第62回中国四国支部講演大会	R1.8.19
20	耳のインピーダンスを考慮した場合の耳栓音響フィルタ特性	○ 眞田 明 高祖 英樹 ²⁰	Dynamics&Design Conference 2019	R1.8.27
21	層厚の異なるN-DLC/WC 積層膜の耐摩耗性	○ 爲國 公貴 ¹⁴ 針谷 達 ¹⁴ 戸谷 陽文 ¹⁴ 滝川 浩史 ¹⁴ 鷹合 滋樹 ²¹ 安井 治之 ²¹ 金子 智 ¹⁵ 國次 真輔 ¹⁵ 神谷 雅男 ¹⁶ 瀧 真 ²²	令和元年度電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会	R1.9.9

No.	題 目	発 表 者	発表会名	年月日
22	小径長尺チューブ内壁へのDLC成膜の均一性評価	○ 今井 裕一 ²³ 中谷 達行 ¹² 國次 真輔 大澤 晋 ¹⁰ 藤井 泰宏 ¹⁰ 逢坂 大樹 ¹⁰	表面技術協会第140回講演大会	R1.9.9
23	パルスアークプラズマジェットを用いたDLC 成膜における導入ガス流量比の影響	○ 富永 凌也 ¹⁴ 針谷 達 ¹⁴ 滝川 浩史 ¹⁴ 國次 真輔 金子 智 ¹⁵ 神谷 雅男 ¹⁶ 権田 英修 ¹⁷	令和元年度電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会	R1.9.10
24	HF-HiPIMS法を用いたDLC成膜における放電特性	○ 福江 紘幸 ¹² 岡野 忠之 ¹³ 黒岩 雅英 ¹³ 國次 真輔 太田 裕己 ²⁴ 米沢 健 ²⁴ 中谷 達行 ¹²	表面技術協会第140回講演大会	R1.9.10
25	Effect of surface contact area on ultralow friction of ta-C:H film	○ ムハンマド ア ミヌル ヘルミ ¹² 國次 真輔 中谷 達行 ¹²	表面技術協会第140回講演大会	R1.9.10
26	ta-C(:H)膜の超低摩擦発現による膜質変化	○ 國次 真輔 ムハンマド ア ミヌル ヘルミ ¹² 中西 亮太 中谷 達行 ¹²	表面技術協会第140回講演大会	R1.9.10
27	無通風箱培養法を利用した固体培養における麹菌の生育と酵素生産に関する研究	○ 伊藤 一成	第71回日本生物工学会大会	R1.9.16
28	二酸化塩素水溶液がPET板に収着したクルクミンの脱色に及ぼす影響	○ 松本 侑子 岩 露 仁 竹原 淳彦 福崎 智司 ²⁵	日本防菌防黴学会 第46回年次大会	R1.9.25
29	次亜塩素酸のシリコーンゴムに対する透過性と殺菌作用	○ 吉田 すぎる ²⁵ 福崎 智司 ²⁵ 浦野 博水 岩 露 仁	日本防菌防黴学会 第46回年次大会	R1.9.25
30	亜塩素酸および二酸化塩素によるエチレンプロピレンゴムの劣化	○ 岩 露 仁 石田 拓也 福崎 智司 ²⁵	日本防菌防黴学会 第46回年次大会	R1.9.25
31	ATPを指標とする清浄度検査におけるふき取り操作条件の検討	○ 寺田 恵菜 ²⁵ 福崎 智司 ²⁵ 高橋 和宏 浦野 博水 大村 宏之 ²⁶	日本防菌防黴学会 第46回年次大会	R1.9.25

No.	題 目	発 表 者	発表会名	年月日
32	清拭不織布の拭き取り性に及ぼす吸水量と荷重の影響	○ 田中 恵祐 ²⁵ 福崎 智司 ²⁵ 高橋 和宏 成松 絢葉 ²⁷ 落合 徹 ²⁷ 新井田康朗 ²⁷	日本防菌防黴学会第46回年次大会	R1.9.25
33	次亜塩素酸によるエチレンプロピレンゴムの劣化	○ 岩 露 仁	日本防菌防黴学会第46回年次大会	R1.9.26
34	隙間を有する円管状フィンが水平加熱面の自然対流熱伝達に及ぼす影響	○ 下山 力生 堀部 明彦 ¹⁰ 山田 寛 ¹⁰ 井上 拓哉 ¹⁰	日本機械学会熱工学カンファレンス2019	R1.10.12
35	8マイクロホン法による広帯域垂直入射吸音率測定—マイクロホン配置と音源構造の工夫によるさらなる高周波数化—	○ 眞田 明 中川 博 ²⁸	日本音響学会10月建築音響研究会	R1.10.18
36	有限要素モデルを用いたシミュレーションによる膝関節スポーツ外傷発生時の負荷	○ 加藤 茂幸 ²⁹ 永山 則之 浦辺 幸夫 ³⁰ 白川 泰山 ³¹	第6回日本予防理学療法学会	R1.10.19
37	Preparation of gold particles/cellulose nanocomposites using a wet-type jet mill	○ 古谷 充章 藤井 英司	The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies	R1.10.29
38	Self-cleaning property of Nb-based photocatalyst thin film surface	○ 西本 俊介 ¹⁰ 影山 和也 ¹⁰ 瀧口 貴大 ¹⁰ 亀島 欣一 ¹⁰ 三宅 通博 ¹⁰ 藤井 英司	The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies	R1.10.29
39	高密度ポリエチレン/フィラー複合材料におけるフィラー添加および試験温度の衝撃強度への影響	○ 日笠 茂樹 甲加 晃一	プラスチック成形加工学会第27回秋季大会	R1.11.12
40	天然成分を使用した蚊を寄せ付けない敷物及び関連商品の研究開発	○ 山村 恒平 ³² 大島 次男 ³² 日笠 茂樹 常定 健 川野 道則	プラスチック成形加工学会第27回秋季大会	R1.11.12
41	ジーンズの新しい洗い加工技術	○ 國藤 勝士 松本 侑子	日本繊維機械学会第26回秋季セミナー	R1.11.14
42	パルス法NMRによる構造評価手法とその応用	○ 岩 露 仁	第7回秋期ゴム・エラストマー技術講座	R1.11.21
43	電解砥粒研磨によるアルミニウム合金の表面状態変化	○ 築山 訓明 村上 浩二 ¹⁸ 渡邊 哲史	第21回関西表面技術フォーラム	R1.11.22
44	高密度ポリエチレン/フィラー複合材料の衝撃破壊挙動に及ぼす試験温度とフィラー粒子径の影響	○ 日笠 茂樹 甲加 晃一	第27回フィラーシンポジウム	R1.11.29
45	シャイプ式ウェーブマシンを応用した搬送システムに関する研究	○ 岩田 和大	第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	R1.12.14

No.	題 目	発 表 者	発表会名	年月日
46	マグネシウム合金の断続切削における工具材種の影響	○ 松岡 大樹 水戸岡 豊 安福 浩司 ³³ 橋本 嘉昭 ³³	2019年度精密工学会中四国支部・九州支部「佐世保地方講演会」	R1.12.14
47	セルロースナノファイバーを用いた金属表面固定化とその特性評価	○ 佐野絵理奈 ¹⁰ 吉岡 朋彦 ¹⁰ 藤井 英司 早川 聡 ¹⁰	日本セラミックス協会第58回セラミックス基礎科学討論会	R2.1.9
48	二酸化塩素水溶液により劣化したゴムの強度低下とその機構	○ 石田 拓也 岩薨 仁	マテリアルライフ学会第24回春季研究発表会	R2.2.21
49	CVA法で成膜したta-C:H膜のトライボロジー特性;面接触による極低摩擦現象の検討	○ ムハンマド ア ミヌル ヘルミ ¹² 國次 真輔 中谷 達行 ¹²	表面技術協会第141回講演大会	R2.3.3
50	バイポーラHiPIMS法を用いたDLC膜の光学特性	○ 福江 紘幸 ¹² 岡野 忠之 ¹³ 黒岩 雅英 ¹³ 國次 真輔 太田 裕己 ²⁴ 米沢 健 ²⁴ 中谷 達行 ¹²	表面技術協会第141回講演大会	R2.3.3
51	医療用小径長尺チューブ内壁への生体適合DLC成膜法の開発	○ 今井 裕一 ^{23,12} 中谷 達行 ¹² 大澤 晋 ¹⁰ 藤井 泰宏 ¹⁰ 逢坂 大樹 ¹⁰ 和田里章悟 ¹⁰ 國次 真輔	表面技術協会第141回講演大会	R2.3.3
52	公設試によるDLCラウンドロビンテスト (I) XPSによるsp ² /sp ³ 評価	○ 重本 明彦 ³⁴ 國次 真輔 服部 悟 ³⁵ 徳田 裕樹 ³⁶ 伊藤 幸一 ³⁷ 村上 穰 ³⁸ 柴原 正文 ³⁹ 西村 崇 ⁴⁰ 三浦 健一 ⁴⁰ 石原 正統 ⁴¹	表面技術協会第141回講演大会	R2.3.4
53	公設試によるDLCラウンドロビンテスト (II) GD-OESによるH量評価	○ 國次 真輔 村上 穰 ³⁸ 大和 弘之 ⁴² 徳田 祐樹 ³⁶ 旭 智治 ⁴³ 服部 悟 ³⁵ 丸岡 智樹 ⁴⁴ 三浦 健一 ⁴⁰ 福田 匠 ⁴⁵ 藤本 明良 ⁴⁶ 馬場 恒明 ⁴⁷ 石原 正統 ⁴¹	表面技術協会第141回講演大会	R2.3.4

No.	題 目	発 表 者	発表会名	年月日
54	PEEK表面へのDLC処理による生体材料への適用検討	○ 西村 直之 ⁴⁸ 國次 真輔 大八木博文 ⁴⁹ 沖原 巧 ¹⁰ 青木 薫 ⁴⁸ 羽二生久夫 ⁴⁸ 齋藤 直人 ⁴⁸	表面技術協会第141回講演大会	R2.3.4
55	周波数解析した加工力を用いた工具摩耗状態の把握	○ 余田 祐之 亀山 寛司 ⁵⁰	日本機械学会中国四国支部第58期総会・講演会	R2.3.6
56	表面テクスチャリングが接着継手強度に与える影響	○ 豊田 健二 ¹⁰ 大宮 裕也 ¹⁰ 中西 亮太 塩田 忠 ¹⁰ 藤井 正浩 ¹⁰	日本機械学会中国四国支部第58期総会・講演会	R2.3.6
57	円管状フィンを設置した水平加熱面上の自然対流熱伝達に及ぼすフィンと加熱面の接続部の影響	浅田 拓真 ¹⁰ 下山 力生 ○ 堀部 明彦 ¹⁰ 山田 寛 ¹⁰ 井上 拓哉 ¹⁰	日本機械学会中四国学生会第50回学生員卒業研究発表会講演会	R2.3.6
58	8マイクロホン法による垂直入射吸音率測定－音源構造などが管内音場に与える影響について－	○ 眞田 明 中川 博 ²⁸	日本音響学会2020年春季研究発表会	R2.3.16
59	全結合層階層化CNNにおける判別器併合法	○ 平田 大貴 高橋 規一 ¹⁰	2020年電子情報通信学会総合大会	R2.3.19
60	セルロースナノファイバーを用いたコーティングプロセスの基礎的検討	○ 吉岡 朋彦 ¹⁰ 猪川久瑠美 ¹⁰ 藤井 英司 早川 聡 ¹⁰	日本セラミックス協会2020年年会	R2.3.20
61	清酒製造の上槽工程における脂肪酸とそのエチルエステルの変化	○ 谷野 有佳 伊藤 一成 花房 裕子 三宅 剛史	日本農芸化学会2020年度大会	R2.3.27
62	清酒製造の上層工程で使用された濾布に残留している香気成分のクラスター解析	○ 伊藤 一成 谷野 有佳 花房 裕子 三宅 剛史	日本農芸化学会2020年度大会	R2.3.27

- | | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| 1 広島工業大学 | 2 (株)STU | 3 倉敷化工(株) |
| 4 東京工業大学 | 5 日本スピンドル製造(株) | 6 元久留米工業高等専門学校 |
| 7 倉敷ボーリング機工(株) | 8 九州工業大学 | 9 (国研)物質・材料研究機構 |
| 10 岡山大学 | 11 (株)スギノマシン | 12 岡山理科大学 |
| 13 東京電子(株) | 14 豊橋技術科学大学 | |
| 15 (地独)神奈川県立産業技術総合研究所 | | 16 伊藤光学工業(株) |
| 17 OSGコーティングサービス(株) | 18 (株)山本金属製作所 | 19 岡山県立大学 |
| 20 エーイー・ザ・サウンドカンパニー | | 21 石川県工業試験場 |
| 22 (株)オンワード技研 | 23 ストロープ(株) | 24 ケニックス(株) |
| 25 三重大学 | 26 (一社)日本食品機械工業会 | 27 クラレクラフレックス(株) |
| 28 日本音響エンジニアリング(株) | 29 広島国際大学 | 30 広島大学 |
| 31 マッターホルンリハビリテーション病院 | | 32 (株)大島屋 |
| 33 日本マテリアル(株) | 34 和歌山県工業技術センター | 35 京都府中小企業技術センター |

- | | | |
|-----------------------|--------------------|-------------------|
| 36 (地独)東京都立産業技術研究センター | | 37 広島県立総合技術研究所 |
| 38 山形県工業技術センター | 39 兵庫県立工業技術センター | 40 (地独)大阪産業技術研究所 |
| 41 (国研)産業技術総合研究所 | 42 栃木県産業技術センター | 43 横浜市工業技術支援センター |
| 44 (地独)京都市産業技術研究所 | 45 (地独)山口県産業技術センター | 46 (株)堀場テクノサービス |
| 47 ファインコーティング(株) | 48 信州大学 | 49 (株)プラズマイオンアシスト |
| 50 中国職業能力開発大学校 | | |

岡山県工業技術センター報告第 46 号

令和元年度版（2019 年度版）

令和 2 年 8 月発行

（2020 年 8 月発行）

岡山県工業技術センター

〒701-1296

岡山県岡山市北区芳賀 5301

TEL 086-286-9600(代表)

FAX 086-286-9630

URL <http://www.pref.okayama.jp/site/kougi/>

技術内容についてのお問い合わせは kougi-info@pref.okayama.jp まで

無断転載を禁ずる